

**PENGARUH PENAMBAHAN KADAR COPPER (Cu)  
TERHADAP NILAI KEKERASAN DAN LAJU KOROSI IMPLAN  
BIODEGRADABLE PADUAN Zn-Cu**

**SKRIPSI**

**TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK MANUFAKTUR**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**JIWANTOKOH AJI RAJA SUTA**  
**NIM. 175060200111002**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**MALANG**

**2021**





# LEMBAR PENGESAHAN

## PENGARUH PENAMBAHAN KADAR COPPER (Cu) TERHADAP NILAI KEKERASAN DAN LAJU KOROSI IMPLAN *BIODEGRADABLE* PADUAN Zn-Cu

### SKRIPSI

#### TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK MANUFAKTUR

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**JIWANTOKOH AJI RAJA SUTA**

**NIM. 175060200111002**

Skripsi telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing pada  
tanggal 1 Juni 2021

**Dosen Pembimbing I**

**Dr. Femiana Gapsari M. F, ST., MT.**  
NIP 19820704 200812 2 002

**Dosen Pembimbing II**

**Dr. Putu Hadi Setyarini, ST., MT.**  
NIP 19770806 200312 2 001

**Mengetahui,**

**Ketua Program Studi S1**



**Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.**  
NIP. 19740930 200012 1 001



## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Malang, 1 Juni 2021

Mahasiswa



Jiwantokoh Aji Raja Suta

NIM. 175060200111002









**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**PROGRAM SARJANA**



## **SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI**

Nomor : **570/UN10.F07.12.11/PP/2021**

Sertifikat ini diberikan kepada :

**JIWANTOKOH AJI RAJA SUTA**

Dengan Judul Skripsi :

**PENGARUH PENAMBAHAN KADAR COPPER (Cu) TERHADAP NILAI KEKERASAN DAN  
LAJU KOROSI IMPLAN BIODEGRADABLE PADUAN Zn-Cu**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi  $\leq 20\%$ , dan  
dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal



Ketua Jurusan Teknik Mesin

**Prof. DJAROT B. DARMADLI, Ir., MT., Ph.D**  
**NIP. 19670518 199412 1 001**

**Malang, 2 Juni 2021**

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin

**MEGA NUR SASONGKO, ST., MT., Dr. Eng**  
**NIP. 19740930 200012 1 001**







**JUDUL SKRIPSI:**

**Pengaruh Penambahan Kadar Copper (Cu) Terhadap Nilai Kekerasan Dan Laju Korosi Implan *Biodegradable* Paduan Zn-Cu**

**Nama Mahasiswa :** Jiwantokoh Aji Raja Suta

**NIM :** 175060200111002

**Program Studi :** Teknik Mesin

**Konsentrasi :** Teknik Manufaktur

**KOMISI PEMBIMBING :** Dr. Femiana Gapsari M. F, ST., MT.

Dr. Putu Hadi Setyarini, ST., MT.

**TIM DOSEN PENGUJI**

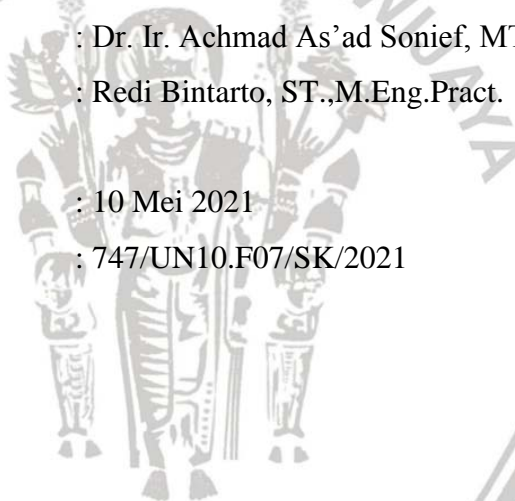
**Dosen Penguji 1 :** Dr. Eng. Yudy Surya Irawan, ST., M. Eng.

**Dosen Penguji 2 :** Dr. Ir. Achmad As'ad Sonief, MT.

**Dosen Penguji 3 :** Redi Bintarto, ST., M. Eng. Pract.

**Tanggal Ujian :** 10 Mei 2021

**SK Penguji :** 747/UN10.F07/SK/2021







## KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan hidayah sehingga kami dapat menyusun laporan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Penambahan Kadar Copper (Cu) Terhadap Nilai Kekerasan Dan Laju Korosi Implan *Biodegradable* Paduan Zn-Cu”** dengan baik.

Laporan skripsi ini disusun dari hasil perkuliahan yang telah dilalui. Laporan skripsi ini dibuat untuk memenuhi syarat kelulusan dan mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya. Dalam penulisan laporan ini tidak luput dari bantuan dari dosen pembimbing dan juga dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
2. Bapak Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng., Ph.D., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
3. Bapak Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT., selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
4. Dr. Ir. Achmad As'ad Sonief, MT., selaku Ketua Kelompok Dasar Keahlian Konsentrasi Teknik Manufaktur
5. Ibu Dr. Femiana Gapsari M.F., ST., MT., selaku dosen pembimbing pertama yang telah banyak membantu dalam menyusun laporan skripsi.
6. Ibu Dr. Putu Hadi Setyarini, ST., MT., selaku dosen pembimbing kedua yang telah banyak membantu dalam penyusunan laporan skripsi.
7. Ayah, ibu, kakak, Ajeng yang telah memberikan dukungan, semangat dan nasihat setiap waktu.
8. Seluruh Dosen Pengajar, Staf Administrasi, dan Karyawan jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah memberikan ilmu dan bantuannya selama perkuliahan.
9. Teman skripsi (Devin, Azka, dan Calvin) yang menemani dalam penyusunan laporan untuk mendapat gelar sarjana.
10. Teman-teman komunal A yang selalu memberikan saran dalam pengerjaan skripsi.
11. Semua teman-teman Mahasiswa Mesin Brawijaya Angkatan 2017.
12. Semua keluarga Laboratorium Metrologi Industri Teknik Mesin Universitas Brawijaya.

13. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan.

Penulis menyadari bahwa laporan yang ditulis masih memiliki banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Penulis mengharapkan kritik dan saran yang akan membantu perbaikan dalam pembahasan atau penelitian terkait topik yang dibuat oleh penulis maupun untuk penulis pribadi. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi banyak pihak dan mahasiswa/mahasiswi yang akan melanjutkan penelitian ini.

Malang, Juni 2021

Jiwantokoh Aji Raja Suta





# DAFTAR ISI

	Halaman
<b>KATA PENGANTAR</b>	i
<b>DAFTAR ISI</b>	iii
<b>DAFTAR TABEL</b>	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	vii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	ix
<b>RINGKASAN</b>	xi
<b>SUMMARY</b>	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	5
2.1 Penelitian Sebelumnya	5
2.2 Definisi <i>Biodegradable</i>	10
2.3 Metelurgi Serbuk	11
2.3.1 Proses Kompaksi	11
2.4 Paduan	11
2.5 Zinc	12
2.6 Copper	12
2.7 Implan Tulang	13
2.8 Biokompabilitas	13
2.9 Korosi	14
2.9.1 Jenis-jenis Korosi	15
2.9.2 Mekanisme Korosi	19
2.9.3 Pengujian Laju Korosi	21
2.10 HBSS ( <i>Hank's Balanced Salt Solution</i> )	22
2.11 Pengujian Metalografi	22
2.11.1 Tahapan Pengujian Metalografi	22
2.12 Uji kekerasan	23

2.12.1 Metode <i>Rockwell</i> .....	24
2.12.2 Uji Kekerasan <i>Brinell</i> .....	25
2.12.3 Uji kekerasan Mikro <i>Knoop Vikers</i> .....	25
2.13 Uji EDS .....	26
2.14 Uji XRD .....	27
2.15 Hipotesis .....	27
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	29
3.1 Metode Penelitian .....	29
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian .....	29
3.3 Variabel Penelitian .....	29
3.4 Alat dan Bahan .....	30
3.4.1 Alat .....	30
3.4.2 Bahan .....	33
3.5 Dimensi Benda Kerja .....	34
3.6 Skema Penelitian .....	35
3.7 Prosedur Penelitian .....	35
3.8 Diagram Alir Penelitian .....	37
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	39
4.1 Hasil Pengujian .....	39
4.1.1 Pembuatan Spesimen .....	39
4.1.2 Hasil Laju Korosi .....	39
4.1.3 Hasil Kekerasan .....	41
4.1.4 Hasil SEM-EDS .....	42
4.1.5 Hasil XRD .....	47
4.2 Pembahasan .....	47
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	51
5.1 Kesimpulan .....	51
5.2 Saran .....	51
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	53
<b>LAMPIRAN</b> .....	55



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Tingkat Ketahanan Korosi Berdasarkan Laju Korosi.....	21
Tabel 2.2	Komposisi larutan HBSS.....	22
Tabel 2.3	Skala Kekerasan <i>Rockwell</i> Beban Minor 10 kg.....	24
Tabel 2.4	Skala Kekerasan <i>Rockwell Superficial</i> .....	25
Tabel 4.1	Parameter Polarisasi Potensi dinamik Paduan Variasi Cu pada HBSS.....	40
Tabel 4.2	Data Hasil Uji Kekerasan.....	41
Tabel 4.3	Unsur pada Spesimen Zn Murni.....	43
Tabel 4.4	Unsur pada Spesimen Zn-1.5Cu.....	44
Tabel 4.5	Unsur pada Spesimen Zn-3Cu.....	45
Tabel 4.6	Unsur pada Spesimen Zn-4.5Cu.....	46





Halaman ini sengaja dikosongkan





## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	(A) Gambar Hasil Uji XRD, (B) Gambar Hasil Uji SEM EDS.....	5
Gambar 2.2	Mikrostruktur Paduan .....	5
Gambar 2.3	Distribusi Ukuran Butir.....	6
Gambar 2.4	Hasil Uji Mekanik.....	6
Gambar 2.5	Tabel Pengujian Kekuatan Tarik .....	7
Gambar 2.6	Perbandingan Laju Korosi Tiap Paduan .....	7
Gambar 2.7	Hasil SEM Setelah Pengujian Korosi (a) Zn (b) ZN-1Cu (c) Zn-2Cu (d) Zn-3Cu (e) Gambar Perbesaran Dari Zn-4Cu (f) Menunjukkan Hasil EDS Zn-4Cu .....	8
Gambar 2.8	Hasil Uji Mikrostruktur (a) Gambar OM, (b) SEM, (C) Hasil EDS.....	9
Gambar 2.9	<i>Uniform Corrosion</i> .....	16
Gambar 2.10	<i>Pitting Corrosion</i> .....	16
Gambar 2.11	Lubang Akibat Korosi Erosi .....	17
Gambar 2.12	Korosi Galnavis .....	17
Gambar 2.13	<i>Stress Corrosion</i> .....	18
Gambar 2.14	Korosi Celah .....	18
Gambar 2.15	Korosi Mikrobiologi .....	19
Gambar 2.16	Korosi Lelah.....	19
Gambar 2.17	Sel Elektrokimia Yang Menghubungkan Logam Besi Dengan Tembaga...	20
Gambar 2.18	Kurva Potensial Anodik Katodik.....	21
Gambar 2.19	Alat Uji Kekerasan Rockwell .....	24
Gambar 2.20	Uji Kekerasan Brinell .....	25
Gambar 2.21	Alat Uji Kekerasan Vickers .....	26
Gambar 3.1	Alat Uji <i>Hot Press</i> .....	30
Gambar 3.2	Alat Uji SEM-EDS .....	30
Gambar 3.3	AUTOLAB PGSTAT 204 .....	31
Gambar 3.4	Alat Uji Kekerasan.....	32
Gambar 3.5	Kompur Listrik dan Termometer .....	32
Gambar 3.6	Alat Uji XRD .....	33
Gambar 3.7	Serbuk Zn .....	33
Gambar 3.8	Serbuk Cu.....	34
Gambar 3.9	Larutan HBSS .....	34



Gambar 3.10	Dimensi Benda Kerja .....	34
Gambar 3.11	Skema <i>Pengujian</i> .....	35
Gambar 3.12	Diagram Alir Penelitian .....	37
Gambar 4.1	Spesimen Uji Zn murni, Zn-1.5Cu, Zn-3Cu, Zn-4.5Cu (kiri kekanan) .....	39
Gambar 4.2	Kurva Polarisasi pada Media HBSS (Hank's Balanced Salt Solution) .....	39
Gambar 4.3	Hasil Uji Laju Korosi .....	40
Gambar 4.4	Grafik Hasil Pengujian Kekerasan .....	42
Gambar 4.5	Hasil SEM dan EDS Zn murni (a) Foto SEM perbesaran 1500x (b) Foto perbesaran 500x (c) Pemetaan porositas (d) Pemetaan Fe (e) Pemetaan Al (f) pemetaan Zn (g) Pemetaan O (h) Komposisi unsur SEM-EDS (i) Hasil EDS Zn murni .....	43
Gambar 4.6	Hasil SEM dan EDS Zn-1.5Cu (a) Foto SEM perbesaran 1500x (b) Foto perbesaran 500x (c) Pemetaan porositas (d) Pemetaan Zn (e) Pemetaan Fe (f) Pemetaan Al (g) Pemetaan Cu (h) Pemetaan O (i) Komposisi unsur SEM-EDS (j) Hasil EDS Zn-1,5Cu .....	44
Gambar 4.7	Hasil SEM dan EDS Zn-3Cu (a) Foto SEM perbesaran 1500x (b) Foto perbesaran 500x (c) Komposisi unsur SEM-EDS (d) Pemetaan Zn (e) Pemetaan Al (f) Pemetaan Fe (g) Pemetaan Cu (h) Pemetaan O (i) Hasil EDS Zn-3Cu .....	45
Gambar 4.8	Hasil SEM dan EDS Zn-4,5Cu (a) Foto SEM perbesaran 1500x (b) Foto perbesaran 500x (c) Komposisi unsur SEM-EDS (d) Pemetaan Zn (e) pemetaan Al (f) Pemetaan Fe (g) Pemetaan Cu (h) Pemetaan O (i) Hasil EDS Zn-4,5Cu .....	46
Gambar 4.9	Hasil Analisis Uji XRD .....	47



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data hasil pengujian Kekerasan.....	55
Lampiran 2 Data hasil pengujian SEM-EDS Zn-Murni.....	56
Lampiran 3 Data hasil pengujian SEM-EDS Zn-1,5Cu.....	57
Lampiran 4 Data hasil pengujian SEM-EDS Zn-3Cu.....	58
Lampiran 5 Data hasil pengujian SEM-EDS Zn-4,5Cu.....	59
Lampiran 6 Data Hasil Pengujian XRD Zn-Murni.....	60
Lampiran 7 Data Hasil Pengujian XRD Zn-1,5Cu.....	61
Lampiran 8 Data Hasil Pengujian XRD Zn-3Cu.....	62
Lampiran 9 Data Hasil Pengujian XRD Zn-4,5Cu.....	63





Halaman ini sengaja dikosongkan



## RINGKASAN

**Jiwantokoh Aji Raja Suta**, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juni 2021, Pengaruh Penambahan Kadar *Copper* (Cu) Terhadap Nilai Kekerasan dan Laju Korosi Implan *Biodegradable* Paduan Zn-Cu. Dosen Pembimbing Femiana Gapsari M.F dan Putu Hadi Setyarini.

Dalam dunia medis pembuatan implan saat ini berfokus pada material yang dapat diserap oleh tubuh. Dengan begitu bahan yang dibutuhkan memiliki nilai kekerasan yang baik dan juga memiliki laju korosi yang rendah agar implan tidak mudah mengalami kerusakan. Dalam penelitian ini memiliki tujuan yaitu mengetahui penambahan unsur Cu terhadap nilai kekerasan dan laju korosi pada paduan Zn-Cu. Penelitian dilakukan secara eksperimental, paduan yang digunakan Zn murni, Zn-1.5Cu, Zn-3Cu, Zn-4.5Cu dengan menggunakan metode *hotpress* sehingga didapatkan spesimen berukuran diameter diameter 20 mm dan tebal 3 mm. Pengujian laju korosi menggunakan alat AUTOLAB PGSTAT 204 dengan media HBSS (*Hank's Balanced Salt Solution*) sebagai cairan yang mirip dengan cairan tubuh, pengujian korosi terendah pada paduan Zn-4.5Cu sebesar 0.09958 mm/tahun dan tertinggi pada Zn murni dengan nilai 0,41356 mm/tahun. Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan dari setiap spesimen, alat yang digunakan yaitu *microvikers* dengan pembebanan sebesar 30 gf dan didapatkan rata-rata nilai kekerasan tertinggi pada paduan Zn-4.5Cu sebesar 149,233 HV dan terendah pada Zn murni dengan rata-rata nilai kekerasan sebesar 45,3 HV. Untuk mengetahui bentuk permukaan dan unsur setiap paduan maka dilakukan pengujian SEM-EDS. Fasa yang terbentuk dapat diamati dengan menggunakan pengujian XRD pada spesimen ini teramati terbentuknya fasa intermetalik, dengan adanya fasa ini dapat meningkatkan nilai kekerasan dari setiap spesimen. Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan nilai kekerasan semakin bertambahnya kandungan Cu maka nilai kekerasan meningkat dan pada pengujian laju korosi didapatkan nilai laju korosi terendah pada paduan Zn-4,5Cu.

**Kata kunci:** *microvikers*, kekerasan, Intermetalik, laju korosi, *hotpress*.



Halaman ini sengaja dikosongkan



## SUMMARY

**Jiwantokoh Aji Raja Suta**, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering Universitas Brawijaya, June 2021, *The Effect of Copper (Cu) Levels Increase on The Value of Hardness and Corrosion Rate of Zn-Cu Alloy Biodegradable Implants*. Advisor Lecturer's. Femiana Gapsari M.F and. Putu Hadi Setyarini.

In the medical world the manufacture of implants currently focuses on materials that can be absorbed by the body. That way the required materials have a good hardness value and also have a low corrosion rate so that the implants do not easily damage. In this study, the purpose is to find out the addition of Cu elements to the hardness value and corrosion rate in Zn-Cu alloys. The research was conducted experimentally, the alloy used by pure Zn, Zn-1.5Cu, Zn-3Cu, Zn-4.5Cu using hotpress method so that specimens with a diameter of 20 mm and thickness of 3 mm. corrosion rate testing using AUTOLAB PGSTAT 204 tool with HBSS media (Hank's Balanced Salt Solution) as a liquid similar to body fluids, lowest corrosion testing in Zn-4.5Cu alloy of 0.09958 mm /year and highest in pure Zn with a value of 0.41356 mm / year. Hardness testing was carried out to determine the hardness value of each specimen, the tool used was microvikers with a charge of 30 gf and obtained the highest average hardness value in the Zn-4.5Cu alloy of 149,233 HV and the lowest in pure Zn with an average hardness value of 45.3 HV. To find out the shape of the surface and elements of each alloy, SEM-EDS testing is carried out. The phase formed can be observed using XRD testing on this specimen observed the formation of intermetallic phases, in the presence of this phase can increase the hardness value of each specimen. From the research that has been done obtained the value of hardness increasing content cu then the value of hardness increased and in the testing of corrosion rate obtained the lowest corrosion rate in the alloy Zn-4.5Cu.

**Keywords:** microvikers, hardness, Intermetallic, corrosion rate, hotpress.



Halaman ini sengaja dikosongkan



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Tang melakukan penelitian tentang bahan implan dari paduan Zn-xCu dan didapatkan hasil kekerasan yang tinggi dengan meningkatnya kandungan Cu sedangkan pada pengujian laju korosi dengan media SBF didapatkan nilai laju korosi Zn yang terendah (Tang 2017). Di dunia medis pembuatan implan saat ini berfokus agar material dapat diserap oleh tubuh sehingga tidak perlu dilakukan pembedahan untuk pencabutan implan. Implan dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan jenis materialnya yaitu implan logam, implan polimer dan implan kemarik. Jika pembuatan implan yang memiliki ion berbeda dengan kandungan yang ada dalam tubuh, maka ion logam tersebut menjadi berbahaya bagi tubuh dan harus dilakukan operasi untuk mengambil implan tersebut (Adhi, 2017). Dari masalah di atas maka dibutuhkan implan berbahan *biodegradable*. Menurut Vojtech (2014) material *biodegradable* adalah material yang mampu diserap oleh tubuh dan tidak berbahaya bagi tubuh sehingga aman dan tidak diperlukan pencabutan implan. *Biodegradable* berbahan logam saat ini menjadi hal menarik di dunia medis dimana digunakan sebagai implan karena bahan logam lebih unggul sifat mekanisnya dari bahan polimer (Zheng 2014).

Di dalam tubuh terdapat beberapa unsur anorganik seperti Mg, Ca, C, Zn Fe dsb. Paduan Zn menjadi alternatif yang baik, dimana memiliki laju korosi lebih rendah daripada Mg dan berada di atas Fe karena potensi standar dari Zn, Mg dan Fe adalah -0,762V, -2,372V dan -0,440V. Zn juga merupakan elemen yang penting dalam tubuh manusia, peran Zn dalam manusia untuk membantu pertumbuhan dan merangsang pembentukan tulang. Pada umumnya Zn murni dapat ditemukan dalam bentuk plat, ingot dan serbuk (Adhi 2017). Kelebihan dari Zn adalah memiliki korosi yang baik, dan memiliki fungsi biologis, persiapan dan pengolahan mudah, reaktivitas kimia rendah serta pemesinan yang baik. Di samping kelebihan Zn juga memiliki kekurangan yaitu kekuatan dan daktilitas yang buruk. Dengan adanya beberapa kekurangan dari Zn maka untuk memaksimalkan kekuatan mekanis berbasis Zn elemen Cu di pilih sebagai paduannya. Cu juga termasuk sebagai elemen penting bagi manusia, jika tubuh manusia mengalami kekurangan Cu maka akan mengalami masalah dalam metabolisme glukosa, kolesterol abnormal dan sistem



kekebalan tubuh (Niu 2016). Dalam serum darah sebesar 74-131  $\mu\text{mol/L}$ , unsur Cu juga berperan sebagai material yang bersifat antibakteri yang dapat mengurangi resiko infeksi selama operasi, dan jika jumlah unsur Cu berlebihan dalam tubuh manusia maka dapat menyebabkan penyakit *Neurodegeneratif* (Tang 2017).

Dalam studi ini, logam Zn-Cu dibentuk dengan menggunakan metode *hot press*, dimana serbuk yang sudah dicampur nantinya akan dipress dengan tekanan tertentu serta menggunakan panas agar serbuk dapat berikatan satu sama lain. Pengujian yang dilakukan guna mengetahui hasil paduan Zn-Cu dalam pembuatan *biodegradable* yaitu uji struktur mikro untuk mengetahui struktur mikro dari paduan, uji sifat mekanik dilakukan untuk mengetahui kekuatan dari paduan Zn-Cu dan uji laju korosi dilakukan untuk mengetahui seberapa besar laju korosi yang dihasilkan dari paduan Zn-Cu karena jika ditanamkan dalam tubuh harus memiliki ketahanan korosi yang baik agar tidak menimbulkan hal-hal yang tidak diinginkan seperti penyakit tertentu dan jika paduan tidak memiliki laju korosi yang baik maka dapat membahayakan manusia dan berakibat infeksi (Tong 2020).

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang di atas maka didapatkan rumusan masalah yaitu bagaimana pengaruh Penambahan Kadar Copper (Cu) Terhadap Nilai Kekerasan Dan Laju Korosi Implan Biodegradable Paduan Zn-Cu?

## 1.3 Batasan Masalah

Agar pengujian memiliki hasil akhir yang baik serta tidak menyimpang dari permasalahan, maka dari itu batasan masalah pada pengujian adalah

1. Ukuran mesh serbuk dianggap sama
2. Kondisi lingkungan *Hot press* ketika proses kompaksi dianggap vakum sempurna.
3. Semua perlengkapan *Hot press* dianggap tidak mempengaruhi paduan.
4. Pada uji korosi hanya dibahas laju korosi

## 1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan yaitu mengetahui pengaruh penambahan kadar Copper (Cu) terhadap nilai kekerasan dan laju korosi implan biodegradable paduan Zn-Cu?



### 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian memiliki manfaat bagi pemerintah, para peneliti, industri, dan masyarakat. Yang diuraikan sebagai berikut:

1. Bagi pemerintah, penelitian dapat digunakan sebagai acuan dalam pemilihan bahan implan berbasis *biodegradable*.
2. Bagi para peneliti, penelitian ini dapat digunakan sebagai pedoman untuk pengembangan lebih lanjut agar hasil semakin maksimal.
3. Bagi industri khususnya pada bidang kesehatan, penelitian ini dapat dimanfaatkan untuk menciptakan implan *biodegradable* yang berpotensi untuk memajukan teknologi kesehatan.
4. Bagi masyarakat, penelitian ini dapat digunakan untuk menambah wawasan mengenai implan yang akan digunakan di masa depan.





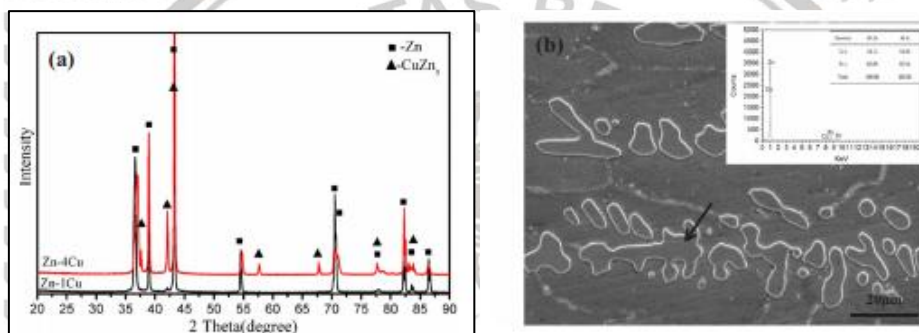
Halaman ini sengaja dikosongkan



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

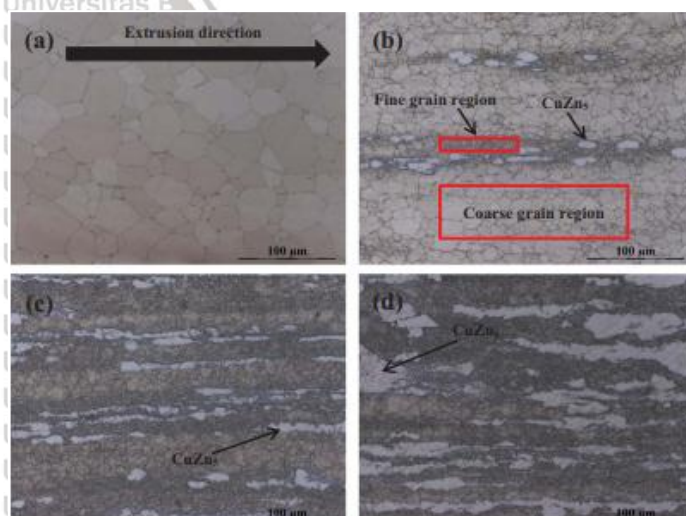
### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Dari penelitian yang dilakukan oleh Zibo Tang dkk (2017) pengujian struktur mikro Zn-Cu menggunakan XRD pada pengujian Zn-1Cu dan pada paduan Zn-4Cu memiliki fase seperti pada gambar 2.1 (A). Intensitas pada  $\text{CuZn}_5$  merupakan intensitas lemah untuk sampel Zn-1Cu, namun kemudian diperkuat pada sampel Zn-4Cu dimana pada sampel tersebut fase  $\text{CuZn}_5$  dapat meningkatkan secara signifikan seiring dengan penambahan Cu. pada Gambar 2.1 (B) merupakan hasil uji SEM dari Zn-4Cu dan analisis EDS tahap sekunder.



Gambar 2.1 (A) gambar hasil uji XRD, (B) gambar hasil uji SEM EDS  
Sumber: Tang (2017)

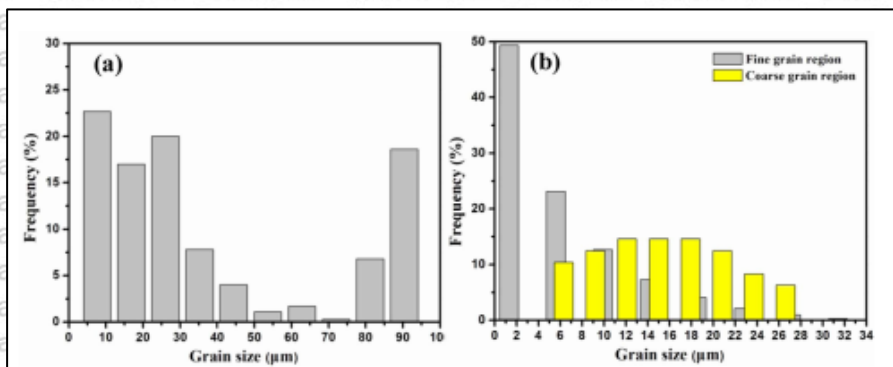
Pada Gambar 2.2 menjelaskan tentang struktur mikro dari paduan setelah dilakukan ekstrusi. Ukuran butir pada fase  $\text{CuZn}_5$  tidak homogen dan butir pada  $\text{CuZn}_5$  lebih halus daripada paduan lainnya.



Gambar 2.2 Struktur mikro paduan  
Sumber: Tang (2017)

Pada paduan Zn-1Cu dan Zn-2Cu distribusi ukuran butir juga dianalisis guna mengetahui lebih jelas mengenai distribusi butirnya. Hasil distribusi di tunjukkan pada Gambar 2.3, rata-rata ukuran butir pada paduan Zn-1Cu adalah  $33,7 \mu\text{m}$ . Sedangkan pada paduan Zn-2Cu ukuran butiran halus daerah butir sebesar  $2,36 \mu\text{m}$ , sedangkan pada daerah butir kasar memiliki ukuran butir sebesar  $15,6 \mu\text{m}$  sehingga menghasilkan ukuran butir yang memiliki rata-rata sebesar  $6,9 \mu\text{m}$ . Dapat disimpulkan bahwa fase  $\text{CuZn}_5$  menginduksi butiran yang jauh lebih halus dimana terbentuk selama rekristalisasi dinamis.

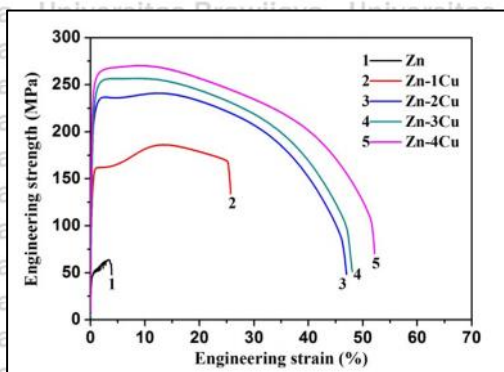
Secara umum ukuran butir akan mengecil seiring dengan bertambahnya konsentrasi Cu 1% menjadi 4%.



Gambar 2.3 Distribusi ukuran butir

Sumber: Tang (2017)

Pengujian mekanik pada spesimen paduan Zn-Cu didapatkan regangan dan tegangan pada uji tarik serta di dapatkan kurva pada Gambar 2.4, penambahan unsur Cu meningkatkan kekuatan luluh serta kekuatan tarik ultimate (UTS) pada paduan Zn-Cu dimana lebih tinggi kekuatan tariknya daripada Zn murni, dan pada paduan Zn-1Cu memiliki kekuatan tarik yang rendah dari paduan lainnya. Dapat dilihat pada gambar 2.5, pada gambar dapat dilihat bahwa paduan Zn-Cu memiliki sifat kekuatan tarik yang baik dari *biodegradable* yang lain seperti paduan berbasis Mg-RE, Mg-6Zn dan Zn-1Mg, Ca, Sr.



Gambar 2.4 Hasil uji mekanik

Sumber: Tang (2017)



Table 1

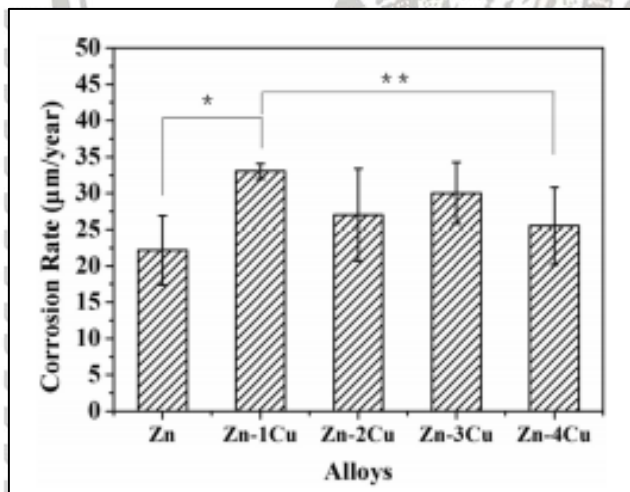
The mechanical properties of Zn-xCu compared with other biodegradable metals.

Alloys	Properties			References
	Yield strength (MPa)	Ultimate tensile strength (MPa)	Elongation (%)	
Mg-RE-Based alloys	156 ± 1	233 ± 4	25.9 ± 0.8	(Zhang et al., 2012b)
Mg-6Zn	169.5 ± 3.6	279.5 ± 2.3	18.8 ± 0.8	(Zhang et al., 2010)
Zn-1Mg <sup>a</sup>	180	255	11	(Gong et al., 2015)
Zn-1Mg <sup>b</sup>	207	265	8.3	(Li et al., 2015)
Zn-1Ca <sup>b</sup>	200	240	7.8	(Li et al., 2015)
Zn-1Sr <sup>b</sup>	218	262	10.3	(Li et al., 2015)
Pure Zn	45 ± 3.5	61 ± 3.7	3.8 ± 0.8	This study
Zn-1Cu	148.7 ± 0.5	186.3 ± 0.5	21.0 ± 4.4	This study
Zn-2Cu	199.7 ± 4.2	240.0 ± 1.4	46.8 ± 1.4	This study
Zn-3Cu	213.7 ± 1.2	257.0 ± 0.81	47.2 ± 1.0	This study
Zn-4Cu	227.0 ± 5.0	270.7 ± 0.5	50.6 ± 2.8	This study
Minimum Requirements	> 200	> 300	15–18	(Werkhoven et al., 2011)

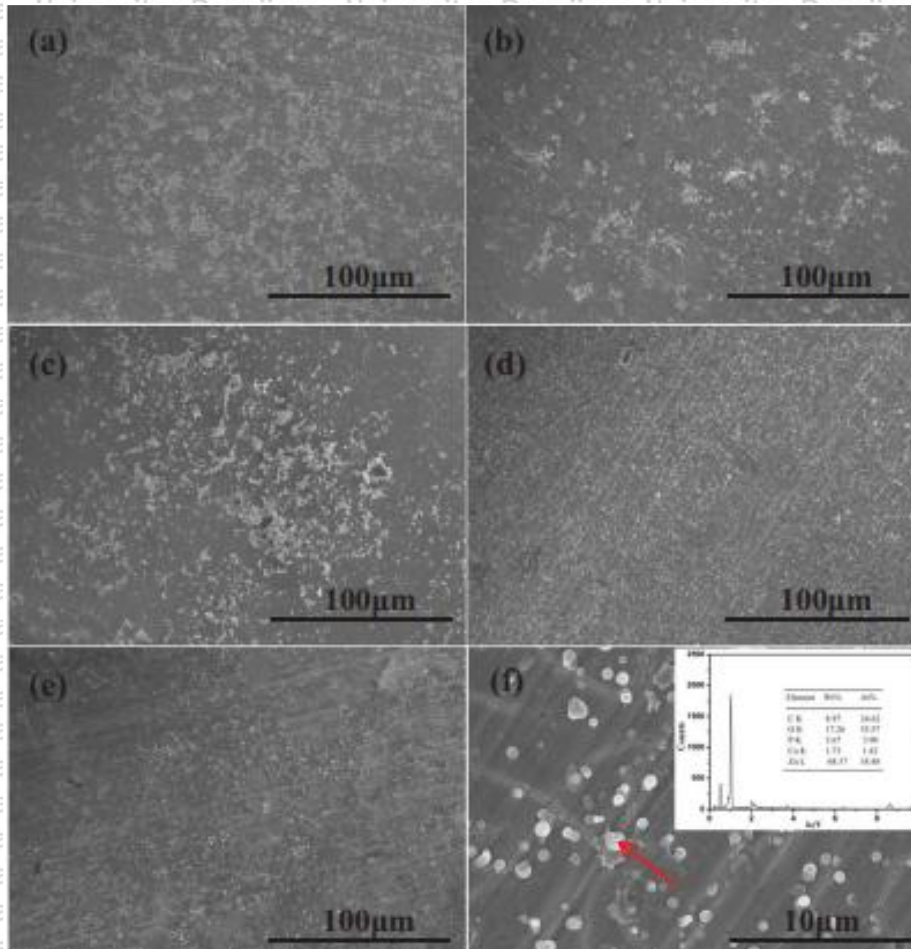
<sup>a</sup> Data induced from figure in literature (Gong et al., 2015) (Fig. 8).<sup>b</sup> Data induced from figure in literature (Li et al., 2015) (Fig. 2(e)).

Gambar 2.5 Tabel pengujian kekuatan tarik  
Sumber: Tang (2017)

Pengujian laju korosi paduan Zn-xCu dalam larutan c-SBF (*Simulated Body Fluid*) dimana memiliki laju korosi dengan nilai terendah sebesar  $22,1 \pm 4,7 \mu\text{m}$  tahun dan untuk paduan Zn-1Cu menunjukkan laju korosi dengan nilai tertinggi yaitu sebesar  $33,0 \pm 1,0 \mu\text{m}$  tahun. Terlihat pada gambar 2.6 bahwa seiring meningkatnya konsentrasi Cu terlihat rata-rata laju korosi paduan Zn-xCu sedikit meningkat dibandingkan Zn murni. Pada sampel paduan Zn-4Cu dianalisis menggunakan EDS yang hasilnya terlihat pada gambar 2.7.



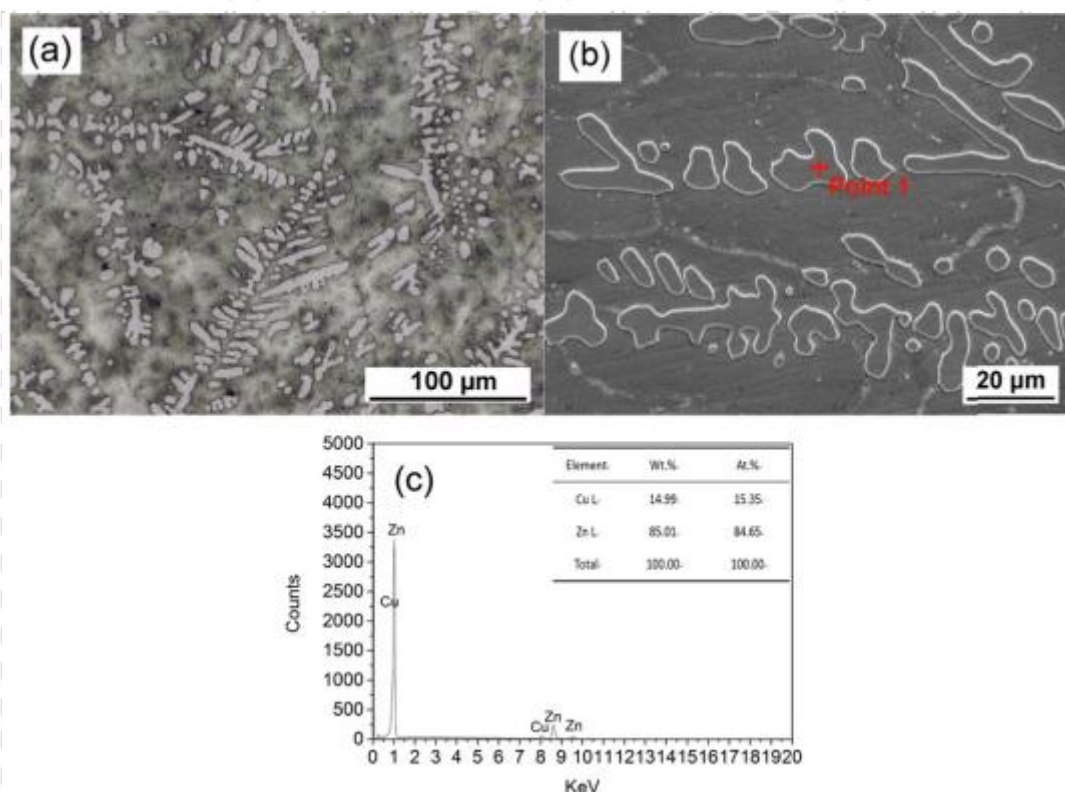
Gambar 2.6 Perbandingan laju korosi tiap paduan  
Sumber: Tang (2017)



Gambar 2.7 Hasil SEM setelah pengujian korosi (a) Zn (b) Zn-1Cu (c) Zn-2Cu (d) Zn-3Cu (e) Gambar perbesaran dari Zn-4Cu (f) Menunjukkan hasil EDS Zn-4Cu  
Sumber: Tang (2017)

Penelitian yang dilakukan oleh Jialin Niu dkk (2016) menyebutkan bahwa terbentuknya fase dendrit pada paduan Zn-4Cu. Analisis hasil uji EDS fase dendrit terdiri dari unsur Zn dan Cu dimana memiliki rasio atom antara 5 hingga 6. Pada uji XRD menunjukkan bahwa terbentuknya dua fasa yaitu fasa primer pada Cu-Zn<sub>5</sub> dan matriks Zn.





Gambar 2.8 Hasil uji struktur mikro (a) Gambar OM, (b) SEM, (C) Hasil EDS  
Sumber: Niu (2016)

Sifat mekanik yang didapatkan dari penelitian yang dilakukan oleh Niu dkk (2016) adalah paduan memiliki kekuatan Tarik maksimal sebesar  $250 \pm 10$  MPa,  $270 \pm 10$  MPa, dan  $51 \pm 2\%$ . Pengujian laju korosi pada paduan Zn-4Cu menunjukkan laju korosi yang rendah, pengujian ini menggunakan media HBSS.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Xian tong (2020) hasil struktur mikro pada spesimen Zn-Cu berbentuk busa dengan pemberian perlakuan panas menunjukkan struktur berporinya saling interkoneksi, dengan ukuran pori berkisar antara  $135,8 \pm 6,8 \mu\text{m}$  dan  $498,5 \pm 26,6 \mu\text{m}$  untuk Cu,  $261,1 \pm 26,4 \mu\text{m}$  dan  $395,8 \pm 26,4 \mu\text{m}$  untuk Zn-Cu dengan pengendapan secara elektro,  $296,8 \pm 25,3 \mu\text{m}$  dan  $376 \pm 11,7 \mu\text{m}$  untuk Zn-Cu dengan pemberian perlakuan panas. Dalam uji EDS menunjukkan untuk Zn yang diberikan perlakuan pengendapan secara elektro memiliki lapisan yang halus, memiliki ketebalan  $263,1 \pm 16,5 \mu\text{m}$ , dan tidak terjadi difusi pada unsur Zn-Cu. Pada hasil EDS Zn-Cu setelah diberikan perlakuan panas menunjukkan hasil bahwa bagian yang memiliki unsur Zn, Cu, O terdistribusi secara merata.

Kekuatan mekanis dan modulus elastisitas yang dihasilkan dari penelitian yang dilakukan oleh Xian Tong bervariasi yaitu  $1,8 \pm 0,3$  MPa,  $2,4 \pm 0,5$  MPa, dan  $0,21 \pm 0,05$  GPa untuk Cu,  $9,9 \pm 2,1$  MPa,  $5,2 \pm 1,4$  MPa, dan  $0,43 \pm 0,08$  GPa untuk Zn - Cu tanpa



perlakuan panas, dan  $12,1 \pm 1,8$  MPa,  $16,8 \pm 0,9$  MPa, dan  $0,41 \pm 0,10$  GPa untuk Zn – Cu dengan perlakuan panas. Setelah dilakukan perlakuan panas terjadi perubahan kekerasan pada Zn-Cu dengan nilai awal  $88,4 \pm 1,8$  HV dan  $66,9 \pm 2,9$  HV menjadi  $88,0 \pm 2,5$  HV. Dalam hasil uji korosinya dengan media larutan Hanks didapatkan Zn-Cu dengan perlakuan panas memiliki laju korosi yang baik sedangkan dengan perlakuan pengendapan secara elektro memiliki laju korosi yang tinggi.

Penelitian yang dilakukan oleh Chao Zhou dkk (2019) material Zn-Cu memiliki kekuatan radial sebesar  $114 \pm 3$  kPa. Sedangkan pada uji SEM-EDS didapatkan hasil lapisan dari produk terkorosi secara perlahan dan seragam.

Hasil dari penelitian yang dilakukan Xinhua Qu dkk (2020) pada uji struktur mikro didapatkan terjadinya endapan pada Zn-Cu dan Zn-0,5Cu dan pada Zn-2Cu terjadi fasa intermetalik. Paduan yang memiliki kandungan Cu yang tinggi didapatkan kekuatan tarik dan kekuatan luluh yang meningkat. Pada penelitian Qu dkk paduan Zn-2Cu yang memiliki kekuatan yang paling tinggi. Laju korosi pada Zn-Cu mengalami peningkatan secara signifikan dengan kandungan Cu dan pada Zn-2Cu menjadi dua kali lipat. Hasil EDS menunjukkan komposisi kimia dari degradasi berupa Zn, C, O dan P.

## 2.2 Definisi *Biodegradable*

Menurut Zheng dkk (2014) logam *biodegradable* adalah logam yang akan mengalami korosi secara bertahap dengan cara in vivo, dimana inang atau makhluk hidup (manusia) memiliki respon yang sesuai dengan korosi material *biodegradable*, dan nantinya akan larut dengan sempurna ketika tujuan untuk membantu pemulihan jaringan tubuh tanpa adanya bagian implant yang tertinggal dalam tubuh. Logam *biodegradable* diklasifikasikan menjadi beberapa jenis diantaranya sebagai berikut:

### 1. *biodegradable* logam murni

Pada *biodegradable* ini memiliki satu elemen logam yang digunakan sebagai material implant, dimana memiliki tingkat kotoran yang relatif rendah dan masih berada dibawah batas toleransi. Laju korosi pada logam *biodegradable* ini masih meninggalkan sedikit bekasnya.

### 2. *biodegradable* logam paduan

Pada *biodegradable* ini memiliki jumlah elemen logam lebih dari satu elemen sebagai material implant. Untuk mencegah adanya kegagalan atau keamanan dalam hal medis maka paduan dan jumlahnya harus dikontrol sehingga tidak ada efek pada gangguan fungsi tubuh dan tidak beracun bagi tubuh.



### 3. Komposit matriks logam *biodegradable*

Pada *biodegradable* ini memiliki jumlah elemen logam dua atau lebih dari dua, pada dasarnya memiliki sifat bahan yang tidak beracun bagi tubuh. Dimana saat logam berikteraksi dengan cairan tubuh maka akan melepaskan elektron dan membentuk ion positif. Dengan kata lain semakin negatif nilai potensial elektroda maka laju degradasi akan semakin baik.

## 2.3 Metalurgi Serbuk

Metalurgi serbuk adalah proses yang digunakan untuk membuat suatu komponen jadi dengan bahan baku berupa serbuk logam. Pada proses ini juga bisa untuk membuat sebuah paduan. Serbuk yang nantinya digunakan untuk membuat spesimen akan diberikan perlakuan berupa tekanan dan pemberian panas atau memanaskannya dengan suhu yang berada dibawah titik lebur bahan dasarnya (Suprpto 2017). Metalurgi serbuk memiliki beberapa kelebihan, berikut adalah kelebihan dari metalurgi serbuk (Rasyid 2014):

1. Biaya pengerjaan yang ekonomis
2. Mudah dalam mendapatkan komponen dengan kualitas bagus
3. Tidak memerlukan proses *finishing*

### 2.3.1 Proses Kompaksi

Proses kompaksi adalah proses pembentukan logam dengan cara memeberikan tekanan pada serbuk, penekanan yang dilakukan bisa dengan satu arah atau dua arah. Pada proses kompaksi juga dilakukan proses sinter, proses sinter adalah proses pemberian panas pada serbuk dengan suhu berada dibawah titik lebur material. Dengan adanya panas tersebut maka akan terjadi ikatan antara serbuk dan akan menjadi benda padat. Pada umumnya waktu sinter yang di perlukan antara 5-45 menit.

## 2.4 Paduan

Paduan adalah kombinasi atau campuran dari dua unsur logam atau lebih, tujuan membuat paduan adalah untuk mendapatkan karakteristik logam yang baik. Pada dasarnya paduan dibedakan menjadi dua, yaitu paduan ferrous dan paduan non-ferrous. Paduan ferrous merupakan paduan yang didominasi oleh logam besi. Pada umumnya kegunaan dari paduan ferrous adalah sebagai bahan kontruksi. Paduan non-ferrous merupakan paduan yang terbuat dari bahan berupa selain logam besi, pada umunya dibuat logam paduan non-ferrous untuk memperkuat karakteristik dari logam dasarnya. Logam non-



ferrous memiliki ketahanan korosi yang baik. Pada umumnya paduan non-ferrous yang dibuat seperti paduan tembaga, paduan magnesium, paduan aluminium, dll (oktafiani).

### 2.5 Zinc

*Zinc* merupakan elemen yang cukup penting bagi tubuh manusia, dalam perannya *Zn* dapat membantu pertumbuhan dan merangsang pembentukan tulang. *Zinc* memiliki titik lebur yang rendah sehingga menyebabkan mudah mengalami *creep* (Li,2020). Titik lebur yang dimiliki *Zn* sebesar 420°C. *Zn* juga merupakan micromineral yang berada pada tubuh manusia, pada orang dewasa kandungan *Zn* yang dimiliki sebesar 2 hingga 2,5 gr (Adhi, 2017).

*Zn* murni pada umumnya berbentuk plat, ingot dan juga serbuk. *Zn* memiliki beberapa sifat mekanik diantaranya: *Zn* memiliki kekuatan tarik sebesar 170 Mpa, kekerasan yang dimiliki *Zn* sebesar 52 HB (hot rolled) dan 60 (cold rolled), kekuatan fatigue *Zn* berkisar 28 Mpa. (ASM Metal Handbook Vol.2,1992)

### 2.6 Copper

*Copper* atau tembaga merupakan unsur logam transisi yang berwarna cokelat kemerahan dan tembaga juga merupakan konduktor panas dan listrik. Tembaga banyak ditemukan di alam baik dalam bentuk biji tembaga, cuprite, chalcosite, dan malasite. Tembaga banyak digunakan sebagai bahan Teknik. Kekuatan tarik yang dimiliki tembaga bisa mencapai 150 N/mm<sup>2</sup> dan dapat ditingkatkan hingga menjadi 390 N/mm<sup>2</sup>. Kekerasan yang dimiliki tembaga dapat mencapai 45 HB dan juga dapat ditingkatkan lagi sehingga menjadi 90 HB dengan cara dilakukan pengerjaan dingin. Tembaga memiliki sifat ketahanan korosi yang baik (Sudjana,2008).

Pada umumnya tembaga memiliki beberapa sifat sebagai berikut:

1. Tembaga adalah logam bersifat keras dan berwarna kuning kemerahan.
2. Tembaga bersifat mulur dan mudah ditempah, sehingga mudah dibentuk menjadi pipa, plat dan kawat.
3. Tembaga merupakan penghantar panas dan penghantar listrik yang baik.
4. Tembaga tahan terhadap korosi.
5. Tembaga dapat didaur ulang.

Tembaga juga banyak digunakan sebagai bahan paduan yang memiliki tujuan untuk meningkatkan kekuatan mekanik, stabilitas thermal dan konduktivitas yang baik.



## 2.7 Implan Tulang

Implan merupakan alat yang digunakan sebagai penopang bagian tubuh manusia pada tulang yang diakibatkan oleh kecelakaan. *Plate, scaffold, screw* dll merupakan perlengkapan yang bisa digunakan sebagai penyangga serta penyambung tulang saat sebelum jaringan tulang kembali seperti semula. *Scaffold* pada area tulang akan terjadi kontak langsung dengan tulang, yang didalamnya terdapat osteosit, osteoklas, dan osteoblas. *Bone screw* berfungsi untuk melindungi *scaffold* agar tetap berada pada posisinya sehingga dapat mempertahankan bentuk tulang (Saito, 2011).

Hingga kini pemakaian materian non-*biodegradable* masih banyak digunakan dalam penerapan pengobatan serta penyembuhan patah tulang. Dengan begitu akan membutuhkan operasi yang berulang yang dapat menyebabkan rusaknya jaringan tubuh dan peradangan (Olszta, 2007). Menurut Dumitrescu (2011) implan yang baik memiliki sifat sebagai berikut:

1. *Micropus* dan juga menyediakan kekuatan tambahan untuk memperbaiki matriks tulang induk dan menjelaskan fungsi perbaikan biologis.
2. Biokompatibel.
3. Mampu menjadi *scaffold* untuk membentuk sebuah sel tulang baru.
4. Dapat diserap dalam jangka panjang serta dapat digantikan oleh tulang induk.
5. Dapat dimanipulasi secara klinis.
6. Hodrifilik.
7. Tidak menimbulkan reaksi alergi.
8. Dapat beradaptasi pada berbagai situasi medis.
9. Mempunyai kekuatan yang tinggi dan mendekati nilai kekerasan standar tulang (80-89 HV).
10. Tidak membutuhkan pertumbuhan *panthogen*.

## 2.8 Biokompabilitas

Dalam pembuatan alat kesehatan, alat yang akan digunakan harus diuji komabilitasnya. Standar pengujian untuk alat Kesehatan adalah ISO 10993. Dalam ISO 10993-1 tercatat bahwa ada beberapa hal yang harus diperhatikan, di antaranya:

1. Konstruksi bahan (mis. Semua bahan yang berhubungan langsung dan tidak langsung dengan jaringan).
2. Zat aditif yang dimaksudkan, kontaminan proses dan residu (misalnya, pengujian residu sterilisasi etilen oksida harus dilakukan sesuai dengan ISO 10993-7); 32



3. Bahan kemasan yang secara langsung atau tidak langsung berhubungan dengan perangkat medis dan dapat mentransfer bahan kimia ke perangkat medis kemudian secara tidak langsung ke pasien atau dokter.
4. Zat yang dapat larut (ISO10993-17 dan ISO 10993-18);
5. Degradasi produk (ISO 10993-9, untuk prinsip umum dan 10993-13, 10993-14 dan 10993-15 untuk produk degradasi dari masing-masing polimer, keramik dan logam);
6. Komponen lain dan interaksinya dalam produk akhir.
7. Kinerja dan karakteristik produk akhir.
8. Karakteristik fisik dari produk akhir, termasuk tetapi tidak terbatas pada, porositas, ukuran partikel, bentuk dan morfologi permukaan.

## 2.9 Korosi

Korosi dapat diartikan jika suatu logam mengalami kerusakan yang disebabkan oleh beberapa faktor yaitu bisa dikarenakan adanya reaksi dengan lingkungan yang berada disekitar dan juga dapat disebabkan karena reaksi elektrokimia logam dengan lingkungan sekitar. Sehingga logam yang mengalami korosi akan kehilangan sebagian dari bagian logamnya (Gapsari,2017).

Korosi merupakan kondisi dimana logam mengalami penurunan kualitas akibat adanya reaksi elektrokimia dengan lingkungan (Haryono 2010). Korosi terjadi lebih awal pada permukaan benda (terutama logam) yang dimana nantinya akan merambat kebagian lainnya, sehingga nantinya logam tersebut akan hancur dengan sendirinya (Kurniawan 2015). Korosi dapat disebabkan oleh beberapa faktor, berikut adalah penyebab terjadinya korosi yang disebabkan oleh lingkungan:

### 1. Kecepatan Air

Dalam faktor ini kecepatan air berpengaruh terhadap terjadinya korosi pada logam, yang dikarenakan saat kecepatan air naik maka kontak antara zat pereaksi dan logam akan semakin besar yang mengakibatkan ion logam akan banyak yang terlepas dan mengakibatkan korosi.

### 2. Suhu

Dalam faktor ini suhu yang mengalami kenaikan dapat mengakibatkan kecepatan terjadinya korosi naik, yang dikarenakan saat suhu tinggi maka energi kinetik pada partikel akan mengalami kenaikan yang akan melampaui energi aktivasi sehingga akan menyebabkan kecepatan laju korosi akan mengalami kenaikan.



### 3. Oksigen

Oksigen menjadi salah satu faktor lingkungan yang dapat menyebabkan terjadinya korosi dengan syarat oksigen harus mengalami kontak langsung dengan logam, yang akan menyebabkan terjadinya kelembaban pada permukaan logam. Dengan terjadinya kelembaban pada permukaan logam maka korosi yang akan terjadi kemungkinan menjadi lebih besar.

Korosi merupakan masalah bagi semua orang, baik seorang yang memiliki usaha pada usaha logam maupun dalam bidang medis. Untuk itu maka ada beberapa cara agar terjadinya korosi dapat dilakukan pencegahan, berikut adalah cara untuk melakukan pencegahan terjadinya korosi:

#### 1. Pelapisan

Korosi dalam dilakukan pencegahan dengan cara memberikan pelapisan pada logam sehingga akan mengurangi kontak antara logam dan lingkungan disekitar. Bahan yang digunakan untuk pelapisan dapat berupa metalik, anorganik dan lain-lain.

#### 2. Aliasi Logam

Pada dasarnya aliasi logam dilakukan dengan cara mencampurkan unsur logam lain pada logam utama yang memiliki tujuan agar kualitas logam meningkat sehingga dapat mencegah terjadinya korosi.

#### 3. Penambahan Inhibitor

Inhibitor merupakan zat yang dapat memperlambat reaksi kimia yang dapat menyebabkan terjadinya korosi. Inhibitor memperlambat laju korosi dengan cara adsorpsi yang akan membentuk suatu lapisan tipis dan tidak terlihat dengan ketebalan beberapa molekul. Dengan adanya lapisan tersebut maka laju korosi akan mengalami perlambatan.

### 2.9.1 Jenis-jenis Korosi

Secara umum korosi dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, berikut adalah jenis-jenis korosi yang terjadi secara umum:

#### 1. Korosi Seragam (*uniform corrosion*)

Korosi seragam seperti pada Gambar 2.9 dapat terjadi karena pH air yang terlalu rendah dan kelembaban udara, pada umumnya korosi ini terjadi pada bagian permukaan secara merata dan semakin lama akan menyebabkan logam semakin tipis.

*Uniform corrosion* terjadi pada semua bagian permukaan yang mengalami kontak



langsung dengan lingkungan yang akan mengalami korosi. Pada korosi ini biasanya terjadi pada logam plat dan pipa.



Gambar 2.9 Uniform corrosion  
Sumber: Utomo (2009)

## 2. *Pitting Corrosion* (korosi sumur)

Korosi sumur seperti pada Gambar 2.10 dapat terjadi karena komposisi logam yang tidak homogen sehingga dapat menyebabkan korosi pada permukaan logam.

Korosi ini berbentuk lubang atau cembungan yang diakibatkan oleh terkelupasnya lapisan logam.

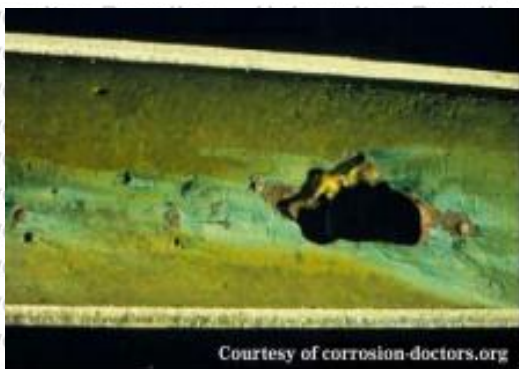


Gambar 2.10 Pitting corrosion  
Sumber: utomo 2009

## 3. *Erosion Corrosion* (korosi erosi)

Korosi erosi seperti pada Gambar 2.11 atau juga disebut sebagai *erosion corrosion* adalah korosi yang terjadi akibat keausan dari benda dan dapat menyebabkan bagian dari benda tajam, pada bagian tersebut yang dapat mengakibatkan terjadinya korosi erosi. Penyebab terjadinya korosi erosi adalah adanya aliran fluida yang tinggi sehingga dapat mengikis bagian benda yang telah diberikan pelapisan pada bagian permukaan logam.





Gambar 2.11 Lubang akibat korosi erosi  
Sumber: utomo (2009)

#### 4. *Galvanis Corrosion* (korosi galvanis)

Korosi galvanis seperti pada Gambar 2.12 merupakan korosi yang disebabkan karena adanya dua buah logam yang memiliki jenis berbeda yang dihubungkan dan direndam pada larutan elektrolit. Logam yang bersifat anodik akan mengalami korosi sedangkan logam lainnya yang bersifat katodik akan terlindungi dari korosi. Korosi galvanis memiliki prinsip elektrokimia yaitu memiliki elektroda (katoda dan anoda), elektrolit dan arus listrik. Logam yang bersifat anoda merupakan logam yang lebih aktif dan memiliki potensial korosi negative. Sedangkan pada anoda akan terjadi reaksi oksidasi serta akan mengalami korosi dan katoda terjadi reaksi reduksi.



Gambar 2.12 Korosi galvanis  
Sumber utomo (2009)

#### 5. *Stress Corrosion* (korosi tegangan)

Korosi tegangan seperti pada Gambar 2.13 merupakan korosi yang diakibatkan oleh butiran dari logam yang berubah bentuk akibat logam yang mengalami perlakuan khusus berupa diregang, ditebuk dll. Pada saat mengalami perlakuan khusus maka butiran logam menjadi tegang dan akan mudah bereaksi dengan lingkungan.

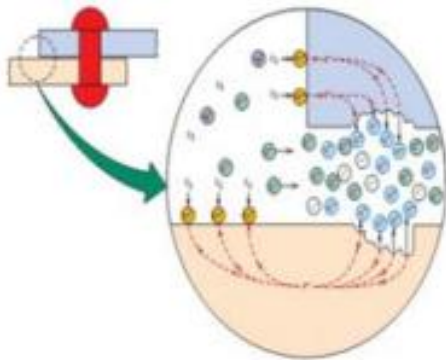


Gambar 2.13 Stress corrosion

Sumber: utomo (2009)

#### 6. Crevice Corrosion (korosi celah)

*Crevice corrosion* seperti pada Gambar 2.14 merupakan korosi yang terjadi akibat adanya celah diantara dua logam yang saling berdempetan dan akan menimbulkan celah yang dapat mencegah adanya kotoran dan air pada bagian mulut celah. Sehingga pada bagian mulut celah ini memiliki konsentrasi  $O_2$  yang tinggi dibandingkan pada bagian lainnya sehingga bagian dalam lebih anodik dan bagian luar jadi katodik.



Gambar 2.14 Korosi celah

Sumber: Andnindyara (2016)

#### 7. Korosi Mikrobiologi

Korosi mikrobiologi seperti pada Gambar 2.15 merupakan korosi yang disebabkan oleh mikroorganisme seperti bakteri, jamur, alga dan protozoa. Prinsip dari korosi ini adalah mikroorganisme akan menempel pada permukaan logam dan akan membentuk lapisan tipis atau biodeposit, lapisan ini akan terlihat hanya bintik-bintik pada bagian permukaan logam.





Gambar 2.15 Korosi mikrobiologi

Sumber: utomo (2009)

#### 8. *Fatigue Corrosion* (korosi lelah)

Korosi fatigue seperti pada gambar 2.16 dapat terjadi karena logam menerima beban secara terus berulang, yang mengakibatkan logam mulai gegalan atau patah yang disebabkan karena logam kelelahan.



Gambar 2.16 Korosi lelah

Sumber: utomo (2009)

#### 9. Korosi Batas Butir

Korosi batas butir adalah korosi yang disebabkan karena adanya tegangan tarik, terjadinya retak terletak pada batas butir dan korosi ini dapat juga disebut sebagai *intergranular corrosion* (IGC).

### 2.9.2 Mekanisme Korosi

Proses terjadinya korosi tidak jauh dari adanya reaksi elektrokimia, korosi pada umumnya dimulai pada bagian permukaan logam yang akan menyebar pada semua bagian logam. Korosi dapat terjadi karena empat faktor, berikut adalah faktor yang menyebabkan terjadinya korosi:

#### 1. Anoda

Pada anoda akan terjadi korosi dikarenakan terjadi pelepasan electron dari atom logam yang netral dan akan membentuk ion yang berikatan. Bisa juga disebut sebagai reaksi oksidasi;



## 2. Katoda

Pada katoda akan terjadi reaksi reduksi. Pada katoda ini tidak akan terjadi korosi karena daerah tersebut membutuhkan elektron.

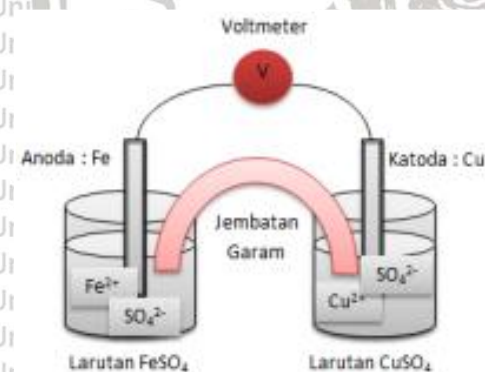


## 3. Elektrolit

Elektrolit merupakan sebuah larutan yang dapat menghantarkan listrik, dalam korosi elektrolit sangat penting karena sebagai penghubung kontak listrik antara katoda dan anoda

## 4. Penghantar

Anoda dan katoda harus terhubung secara elektris. Agar antara katoda dan anoda terhubung dengan aliran listrik maka dibutuhkan penghantar, dengan adanya penghantar arus dalam sel korosi akan dapat mengalir. Pada saat arus listrik sudah mengalir maka electron yang terbentuk pada anoda mengalir di katoda dan akan mereduksi logam di katoda.



Gambar 2.17 Sel elektrokimia yang menghubungkan logam besi dengan tembaga

Sumber: Andnindyara (2016)

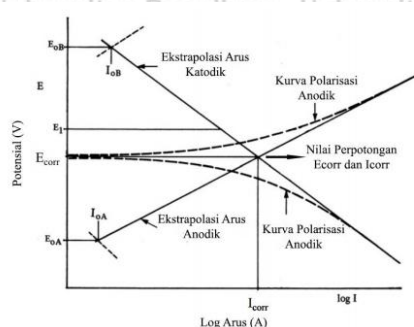
Pada saat sel elektrokimia diberikan aliran listrik Gambar 2.17. Maka reaksi reduksi terjadi pada logam tembaga dan oksidasi akan terjadi pada logam besi.



Pada saat arus listrik mengalir melalui sirkuit, maka electron akan dihasilkan dari oksidasi pada besi dan akan mengalir ke tembaga untuk mereduksi  $Cu^{2+}$ . Proses terjadinya reaksi oksidasi dan reduksi tergantung pada kereaktifan masing-masing logam. Pada



Gambar 2.18 menjelaskan bahwa semakin tinggi  $I_{corr}$  maka logam dan paduan akan semakin tidak reaktif.



Gambar 2.18 Kurva potensial anodik katodik

Sumber: Bardal (2004)

### 2.9.3 Pengujian Laju Korosi

Pengujian laju korosi adalah pengujian yang dilakukan untuk menentukan cepat rambat atau kecepatan penurunan kualitas suatu logam atau paduan terhadap waktu. Pada uji laju korosi satuan yang digunakan adalah mm/tahun (SI) atau mill/year (mpy, standar british). Pada umumnya material memiliki ketahanan laju korosi antara 1-200 mm/tahun. Tingkat ketahanan korosi suatu logam atau paduan juga dapat dilihat kategori baik atau buruk seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1

Tingkat ketahanan korosi berdasarkan laju korosi

Relative Corrosion Resistance	Approximate Metric Equivalent				
	mpy	Mm/year	$\mu\text{m/year}$	Nm/year	pm/sec
Outstanding	< 1	< 0.02	< 25	< 2	< 1
Excellent	1-5	0,02-0,1	25-100	2-10	1-5
Good	5-20	0,1-0,5	100-500	10-50	5-20
Fair	20-50	0,5-1	500-1000	50-100	20-50
Poor	50-200	42125	1000-5000	150-500	50-200
Unacceptable	200+	5+	5000+	500+	200+

Sumber: Kurniawan (2015)

Metode elektrokimia digunakan sebagai metode untuk mengukur laju korosi, caranya dengan mengukur beda potensial obyek hingga nilai laju korosi didapatkan. Hasil ini hanya didapatkan pada saat dilakukan pengujian saja, yang nantinya digunakan untuk memperkirakan laju korosi dalam jangka panjang. Kelebihan dari pengujian ini yaitu waktu yang dibutuhkan tidak terlalu lama dan hasilnya dapat langsung didapatkan.

Hasil pengujian polarisasi potensiodinamik berupa kurva plot antara potensial dan arus. Yang dimana nantinya kurva tersebut diekstrapolasi sehingga didapatkan nilai  $I_{corr}$ ,  $E_{corr}$ ,

$\beta$ a,  $\beta$ c. Polarisasi anodik dan katodik akan menghasilkan garis lurus dengan kemiringan tertentu dan juga akan mendapatkan titik potong antara polarisasi katodik dan anodik akan bernilai sama dengan  $E_{corr}$  dan  $I_{corr}$  (Bardal 2004).

## 2.10 HBSS (*Hank's Balanced Salt Solution*)

HBSS merupakan larutan garam yang memiliki kadar pH mendekati darah yaitu 7,4. Larutan ini juga digunakan sebagai media pengkorosi biomaterial karena pada pengujian laju korosi penggunaan darah tidak umum dilakukan maka dari itu diperlukan penggantinya, salah satunya yaitu larutan HBSS (Manivasagam 2010). Tabel 2.2 merupakan kandungan dalam HBSS.

Tabel 2.2  
Komposisi larutan HBSS

Kandungan	Komposisi (g/L)
NaCl	8,0
KCl	0,4
NaHCO <sub>3</sub>	0,35
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O	0,25
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	0,06
CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	0,19
MgCl <sub>2</sub>	0,19
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0,06
Glukosa	1,0
pH	6,9

Sumber: Manivasagam (2010)

## 2.11 Pengujian Metalografi

Uji metalografi adalah uji yang dilakukan guna untuk menganalisis sebuah struktur dan komponen logam atau paduan yang dilihat secara visual maupun dengan alat bantu berupa mikroskop optik, mikroskop elektron, dan fraksi sinar-x. Struktur logam, ukuran butir, dan fasa pada logam atau paduan dilihat menggunakan pengujian metalografi (Tiandho 2018).

### 2.11.1 Tahapan Pengujian Metalografi

Sebelum dilakukan pengujian metalografi logam atau paduan yang akan diuji harus diberikan beberapa perlakuan agar pengujian mendapatkan hasil yang maksimal. Berikut adalah tahapan yang dilakukan sebelum dilakukan uji metalografi:



#### 1. Pemotongan logam (spesimen)

Pemotongan spesimen dilakukan dengan ukuran yang telah ditentukan dan saat pemotongan diusahakan suhu benda kerja tidak terlalu panas agar struktur tidak berubah.

#### 2. *Mounting*

Mounting dilakukan yang berguna untuk memudahkan proses pengamplasan dan pengetsaan saat benda kerja terlalu kecil. Biasanya yang digunakan berbahan resin.

#### 3. *Grinding*

Proses *grinding* dilakukan untuk meratakan permukaan benda kerja, alat yang biasa digunakan adalah kertas gosok dengan kekasaran yang bervariasi. Kekasaran pada kertas gosok yang digunakan pada proses *grinding* bisa dari kekasaran 120, 240, 360, 400, 700, dll. Pada saat dilakukan proses *grinding*, logam atau paduan diberikan air agar hasil proses grinding menghasilkan permukaan yang halus dan mencegah terjadinya dislokasi.

#### 4. *Polishing*

Proses *polishing* merupakan proses selanjutnya setelah dilakukan *grinding* dan digunakan untuk menghilangkan goresan-goresan pada saat setelah dilakukan grinding, pada proses ini dilakukan dengan menggunakan cairan khusus dengan kain kasa agar hasil polishing mencapai maksimal.

#### 5. *Etching*

Proses etching dilakukan untuk memunculkan gambar struktur mikro dengan jelas, pada proses ini larutan yang digunakan bisa berupa larutan asam (Manurung 2020).

### 2.12 Uji Kekerasan

Kekerasan merupakan salah satu sifat mekanik yang dimiliki suatu logam, kekerasan juga dapat diartikan sebagai kekuatan suatu material untuk menahan suatu tekanan pada bagian permukaan logam atau paduan dan diberikan beban tertentu, dan hasil dari pembebanan itulah yang akan diukur. Pada pengujian kekerasan terdapat beberapa metode pengujian yang digunakan, yaitu:

#### 1. Uji kekerasan *rockwell*

#### 2. Uji kekerasan *Brinell*

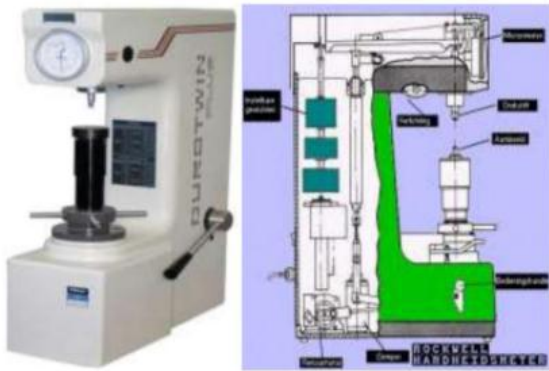
#### 3. Uji kekerasan *vikers*

#### 4. Uji kekerasan knop



### 2.12.1 Metode Rockwell

Metode ini merupakan metode yang sering digunakan pada umumnya dan merupakan pengujian paling sederhana dibandingkan dengan metode yang lain. Pada pengujian *rockwell* indenter yang digunakan bisa berupa intan berbentuk kerucut dan juga bola baja yang dikeraskan dengan ukuran 1/6, 1/8, 1/4, 1/2, inci (1,588; 3,175; 6,350; 12,70 mm).



Gambar 2.19 Alat uji kekerasan Rockwell

Sumber: Herlina (2018)

Skala yang digunakan pada uji kekerasan *rockwell* sebagai berikut:

1. HRA (digunakan pada material yang sangat keras)
2. HRB (digunakan pada material yang lunak), indenter berupa bola baja berdiameter 1/6 inci dan beban uji 100kgf
3. HRC (untuk material dengan kekerasan sedang), indenter yang digunakan berupa kerucut dan terbuat dari intan yang memiliki sudut puncak 120° dengan beban uji sebesar 150kgf.

Pengujian ini dilakukan sebanyak dua kali pembebanan, pembebanan pertama yaitu pembebanan minor dan pembebanan mayor. Pembebanan minor digunakan agar pengukuran yang dilakukan akurat. Pada pengujian ini terdapat skala pembebanan yang digunakan, seperti pada Tabel 2.3:

Tabel 2.3  
Skala Kekerasan *Rockwell* Beban Minor 10 kg

Symbol	Indenter	Beban Mayor (kg)
A	Intan	60
B	Bola 1/16 inci	100
C	Intan	150
D	Intan	100
E	Bola 1/8 inci	100
F	Bola 1/16 inci	60
G	Bola 1/16 inci	150
H	Bola 1/8 inci	60
K	Bola 1/8 inci	150

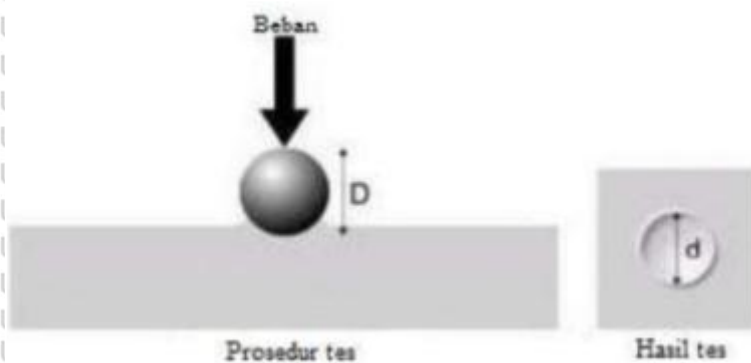


Tabel 2.4  
Skala Kekerasan *Rockwell Superficial*

simbol	indentor	Beban mayor (kg)
15 N	intan	15
30 N	Intan	30
45 N	Intan	45
15 T	Bola 1/16 inci	15
30 T	Bola 1/16 inci	30
45 T	Bola 1/16 inci	45
15 W	Bola 1/8 inci	15
30 W	Bola 1/8 inci	30
45 W	Bola 1/8 inci	45

### 2.12.2 Uji Kekerasan *Brinell*

Pada pengujian *Brinell* tujuannya untuk menentukan kekuatan material menahan beban berupa indentor bola baja. Pengujian brinell digunakan pada material yang memiliki kekerasan 400 HB. Pada pengujian ini indentor yang digunakan berupa bola baja berdiameter 10 mm dan tekanan yang diberikan sebesar 500-3000 kg dengan kenaikan beban setiap kelipatan 500 kg, waktu penahanan beban berkisar antara 10 sampai 30 detik. Pada saat pengujian pembebanan dilakukan pada bagian tengah permukaan spesimen, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.20.



Gambar 2.20 Uji kekerasan *Brinell*

Sumber: Herlina (2018)

### 2.12.3 Uji Kekerasan Mikro *Knoop* *Vickers*

Pada pengujian kekerasan mikro *knoop* dan *vickers* indentor yang digunakan adalah intan yang berbentuk piramida. Indentor ini memiliki sudut sebesar 136°. Pada pengujian ini pembebanan yang diberikan tidak terlalu besar, yaitu beskisar antara 1-1000 gr. Pada pengujian ini spesimen terlebih dahulu dihaluskan.



Gambar 2.21 Alat uji kekerasan vikers

Sumber: Herlina (2018)

Pada pengujian ini nilai kekerasan vikers di dapatkan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$HV = 1.8544 \cdot P/d^2 \dots\dots\dots (2-5)$$

Dengan:

$HV$  = Kekerasan vikers

$P$  = Beban indentor (kgf)

$d$  = Panjang diagonal indentasi (mm)

pada pengujian ini nilai kekerasan knoop didapatkan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$HK = P/C_p \cdot L^2 \dots\dots\dots (2-6)$$

Dengan:

$L$  = Panjang sumbu axis indentasi

$C_p$  = Faktor koreksi

$P$  = Beban

### 2.13 Uji EDS

EDS atau *energy Dispersive Spectroscopy* merupakan sebuah piranti yang digunakan untuk mengetahui jenis atom dipermukaan benda uji. Hasil yang didapatkan dari uji EDS dengan cara sinar X yang dihasilkan pada saat elektron kulit luar berpindah ke bagian kulit



yang lebih dalam. Dari energi yang dipancarkan oleh elektron dengan bentuk sinar X nantinya akan dideteksi dan dihitung EDS. Selain itu EDS juga bisa digunakan untuk pemetaan elemen dengan cara memberikan warna yang berbeda setiap elemen yang terdapat pada permukaan benda uji, dan juga EDS dapat digunakan sebagai alat analisa secara kuantitatif persentase setiap elemen yang terdapat pada benda uji (Qulub,2011).

## 2.14 Uji XRD

Uji XRD merupakan uji yang dilakukan untuk mengkarakterisasi struktur kristal, ukuran kristal dari suatu spesimen uji. Dalam pengujian XRD penyinaran sinar X dilakukan berupa spektrum difraksi sinar X yang dideteksi detector yang kemudian data direkam dalam computer berupa grafik (Darwis, 2017). Uji Xrd memiliki beberapa kelebihan yaitu preparasi yang sederhana dan untuk menegetahui besar rata-rata dari setengah puncak ukuran kristalit.

Menurut Riana (2012) XRD digunakan untuk keperluan difraksi, sinar X yang digunakan hanya yang memiliki panjang gelombang tertentu. XRD digunakan untuk menentukan jenis kristal dengan cara menggunakan sinar X. Panjang gelombang sinar X yang digunakan antara 400-800 nm.

## 2.15 Hipotesis

Berdasarkan dasar teori yang telah disebutkan di atas bahwa penambahan unsur Cu sebagai paduan Zn dalam material *biodegradable* dapat meningkatkan nilai kekerasan dan mempengaruhi laju korosi dalam media HBSS karena Cu memiliki sifat untuk meningkatkan kekuatan mekanik dan mempengaruhi ketahanan terhadap laju korosi serta dengan bertambahnya Cu akan membentuk fasa intermetalik yang dapat meningkatkan kekerasan.



Halaman ini sengaja dikosongkan



## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan adalah eksperimental yaitu untuk mengetahui pengaruh penambahan unsur Cu pada paduan Zn-Cu terhadap nilai kekerasan, dan laju korosi.

### 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian yang dilakukan pada waktu 13 Oktober 2020 – Desember 2020 Penelitian ini dilakukan dilaboratorium sebagai berikut:

1. Laboratorium  $\alpha\beta$  Landungsari Malang
2. Laboratorium Sentral Ilmu Hayati Universitas Brawijaya,
3. Laboratorium Pengujian Bahan Politeknik Negeri Malang,
4. Laboratorium Metrologi Industri Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya

### 3.3 Variabel Penelitian

Pada penelitian ini memiliki 3 variabel, variabel tersebut antara lain sebagai berikut:

1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya telah ditentukan sebelum penelitian dan variabel ini tidak terpengaruhi oleh variabel lain. Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini adalah komposisi Cu. Pada paduan pertama Zn murni, paduan kedua Zn-1.5Cu, paduan ketiga Zn-3Cu, dan paduan keempat Zn-4.5Cu

2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas. Pada penelitian ini variabel terikatnya adalah uji kekerasan, uji laju korosi, hasil uji SEM-EDS, dan XRD sebagai data pendukung

3. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang memiliki nolai konstan. Pada penelitian ini variabel terkontrolnya adalah:

Suhu : 350°C

Waktu penekanan : 15 menit

Ukuran spesimen : Diameter 20 mm, tebal 3 mm

Tekanan : 400 bar

### 3.4 Alat dan Bahan

#### 3.4.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian:

##### 1. Hot press

Pada Gambar 3.1 merupakan alat yang digunakan untuk meleburkan serbuk Zn-Cu dan pencampuran serbuk Zn-Cu agar melebur menjadi satu paduan yang telah diinginkan.



Gambar 3.1 Alat uji hot press

##### 2. SEM-EDS

Pada Gambar 3.2 merupakan alat yang digunakan untuk melihat presentase kandungan elemen yang terdapat pada permukaan logam.



Gambar 3.2 Alat Uji SEM-EDS

Spesifikasi SEM-EDS yang digunakan:

Merek : FEI-Quanta FEG 650

EDS detector : X-act Oxford Instrument



### 3. AUTOLAB PGSTAT 204

Pada Gambar 3.3 merupakan alat yang digunakan untuk mengukur laju korosi pada spesimen tiap-tiap paduan yang dibuat



Gambar 3.3 AUTOLAB PGSTAT 204

Spesifikasi alat:

<i>Electrode connections</i>	: 2, 3, dan 4
<i>Potential range</i>	: +/- 10 V
<i>Compliance voltage</i>	: +/- 20 V
<i>Maximum current</i>	: +/- 400 mA
<i>Current ranges</i>	: 100 mA to 10 nA
<i>Potential accuracy</i>	: +/- 0,2%
<i>Potential resolution</i>	: 3 $\mu$ V
<i>Current accuracy</i>	: +/- 0,2%
<i>Current resolution</i>	: 0,0003 % (of current range)
<i>Input impedance</i>	: > 100 GOhm
<i>Potentiostat bandwidth</i>	: 1 MHz
<i>Computer interface</i>	: USB
<i>Control software</i>	: NOVA

## 4. Alat Uji Kekerasan



Gambar 3.4 Alat Uji Kekerasan

Spesifikasi alat:

Merek : Mitutoyo HM 200

Buatan : Jepang

Indentor bola *Rockwell* : 1/16"

Indentor Intan : 120°

Skala Pembebanan : 30 gf

## 5. Kompor Listrik dan Termometer

Pada Gambar 3.5 merupakan alat yang digunakan untuk memanaskan larutan media korosi agar suhu larutan mendekati suhu tubuh yaitu antara 35-37°C



Gambar 3.5 Kompor listrik dan thermometer

## 6. Alat Uji XRD

Spesifikasi alat:

Model : PW3040/60

Make : PANalytical



Angular Range : 5° - 140°  
 Detector : Xcelerator  
 Power : 40 KV; 30 mA  
 Resolution : 0,001  
 Software : Match V.3



Gambar 3.6 alat uji XRD

### 3.4.2 Bahan

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah :

#### 1. Zn (zinc)

Merupakan bahan utama yang digunakan untuk membuat paduan dalam penelitian ini. Zinc yang digunakan memiliki kemurnian 99.95%, Zn yang digunakan dalam penelitian ini berupa serbuk seperti pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Serbuk Zn

## 2. Cu (copper)

Merupakan bahan utama yang digunakan untuk membuat paduan dalam penelitian ini. Pada penelitian ini Cu yang digunakan memiliki kemurnian 99.5% dan yang digunakan dalam bentuk serbuk seperti pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Serbuk Cu

## 3. Larutan HBSS

Larutan yang digunakan media dalam pengujian korosi yang memiliki kemiripan dengan cairan yang ada pada tubuh manusia seperti pada Gambar 3.9.

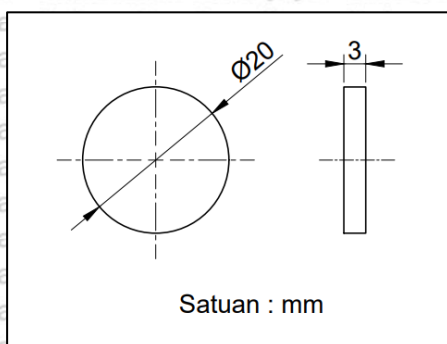


Gambar 3.9 Larutan HBSS

## 3.5 Dimensi Benda Kerja

Dimensi benda kerja yang akan dibuat melalui proses *Hot press* ditunjukkan pada

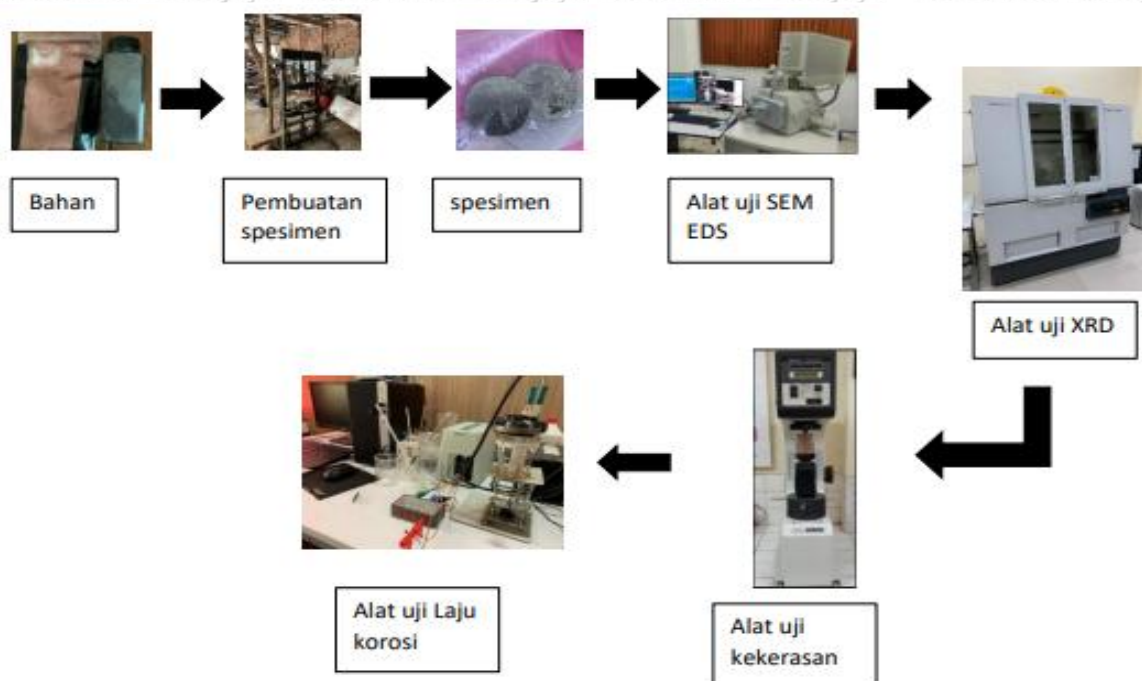
Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Dimensi benda kerja



### 3.6 Skema Penelitian



Gambar 3.11 Skema penelitian

Pada Gambar 3.11 merupakan tahap pengujian, proses awal adalah menyiapkan bahan dasar berbentuk serbuk, kemudian Zn dan Cu dicampur sesuai dengan prosentase. Pembuatan spesimen dalam bentuk kepingan menggunakan metode *hot press* dengan suhu 350° serta waktu holding 15 menit. Kemudian spesimen yang jadi di haluskan dengan amplas agar permukaan lebih rata dan halus. Setelah itu dilakukan uji struktur mikro dengan alat uji SEM EDS untuk melihat struktur mikro spesimen serta persebaran unsur dalam spesimen. Kemudian dilakukan uji XRD dan kekerasan dan terakhir dilakukan uji korosi untuk mengetahui laju korosi tiap paduan.

### 3.7 Prosedur Penelitian

#### 1. Persiapan bahan

Siapkan serbuk Zn dan Cu sesuai komposisi yang diinginkan sehingga nanti akan didapatkan spesimen dengan komposisi yang berbeda-beda. Kemudian lakukan peleburan menggunakan metode *hot press* pada suhu 350°C pada tekanan 400 bar dengan lama *holding* 15 menit. Sehingga didapatkan material berupa piringan.

Pengujian dilakukan di laboratorium  $\alpha\beta$ .

## 2. Pengujian Karakteristik struktur mikro

Sebelum dilakukan uji struktur mikro spesimen dipoles dan di etsa menggunakan larutan asam agar saat pengujian struktur mikro terlihat lebih jelas. Tahap pertama dilakukan analisis difraksi XRD untuk mengidentifikasi fase konstitusi. Tahap kedua sampel dianalisis menggunakan pemindahan mikroskop elektron (SEM yang dilengkapi dengan spektrometri dispersive energi (EDS)), pengujian ini dilakukan di Laboratorium sentral Ilmu Hayat.

## 3. Pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui kekuatan dari spesimen sehingga ketika dibuat sebagai implan tidak terjadi kerusakan saat implan sudah ditanam pada bagian tubuh. Alat yang digunakan pada pengujian ini adalah alat uji kekerasan *Micro-vickers* dengan indenter piramid. Pasangkan indenter, kemudian pasang benda kerja yang telah di poles pada bagian permukaannya. Putar *turn wheel* searah jarum jam secara perlahan hingga benda kerja menyentuh indenter tanpa mengalami *impact*. Nilai kekerasan akan terbaca pada layar. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium pengujian Bahan Politeknik Negeri Malang.

## 4. Pengujian Laju Korosi

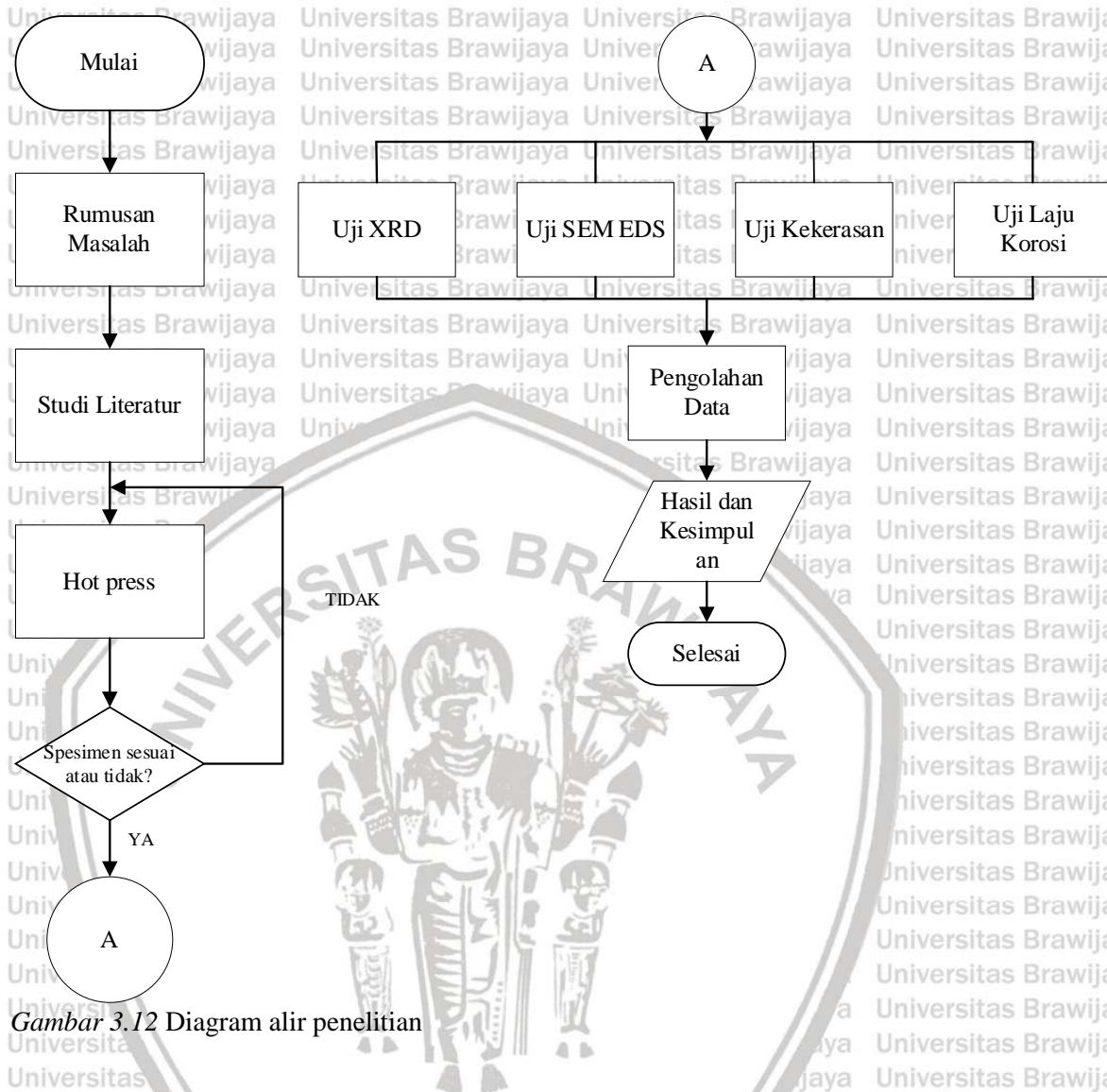
Sebelum dilakukan pengujian korosi, media korosi yang digunakan pada penelitian ini HBSS dipanaskan terlebih dahulu menggunakan kompor listrik hingga suhu mencapai 37°C. Setelah larutan mencapai suhu tersebut, larutan siap digunakan untuk media pengujian laju korosi.

Langkah pertama adalah menghidupkan alat uji korosi kemudian memasang kabel ke elektroda yang berbeda. Kemudian tuangkan larutan HBSS kedalam gelas ukur kimia dan mencelupkan elektroda kedalam larutan tersebut. Kemudian atur tegangan serta memasukan nilai *density*, *equivalent weight*, dan luas permukaan, serta menyambungkan semua kabel ke computer. Kemudian melakukan pengukuran dan mencatat hasil yang ada pada komputer, pengukuran pengambilan data laju korosi menggunakan metode ekstrapolasi. Dan pengujian dilakukan di Laboratorium Metrologi Industri Teknik Mesin Universitas Brawijaya.



### 3.8 Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.12 merupakan alur dalam skripsi ini.



Gambar 3.12 Diagram alir penelitian



Halaman ini sengaja dikosongkan



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Pengujian

#### 4.1.1 Pembuatan Spesimen

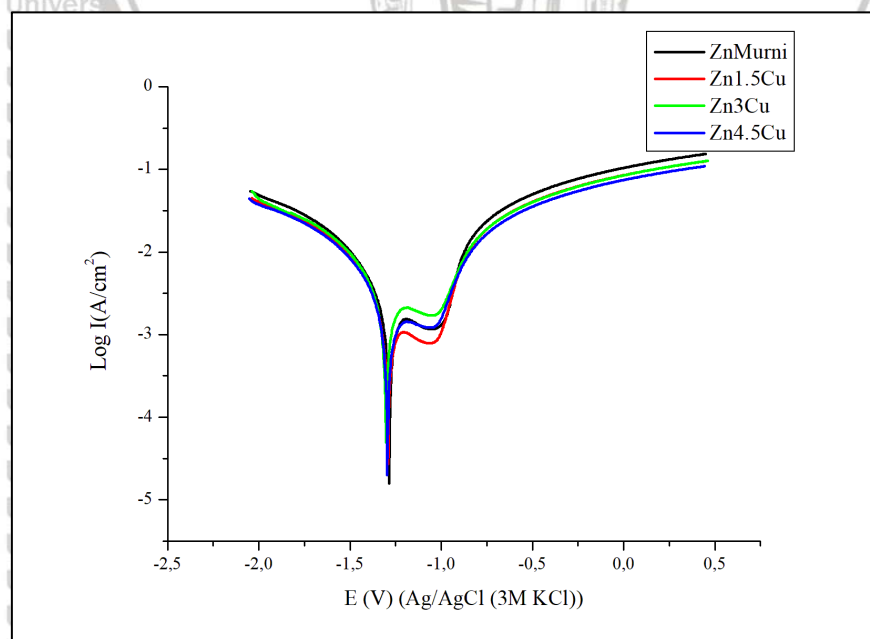
Pada penelitian ini pembuatan spesimen dilakukan dengan menggunakan metode *Hotpress* dengan suhu  $350^{\circ}\text{C}$ , tekanan 400 bar dan penahanan selama 15 menit, dengan paduan Zn murni, Zn-1.5Cu, Zn-3-Cu, Zn-4.5Cu sehingga didapatkan seperti Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Spesimen uji a) Zn murni, b) Zn-1.5Cu, c) Zn-3Cu, d) Zn-4.5Cu

#### 4.1.2 Hasil Laju Korosi

Pengujian yang dilakukan penelitian ini, alat yang digunakan AUTOLAB PGSTAT 204N. Media korosi yang dipilih untuk pengujian adalah HBSS (Hank's Balanced Salt Solution), HBSS digunakan dengan alasan sebagai simulator cairan dalam tubuh.

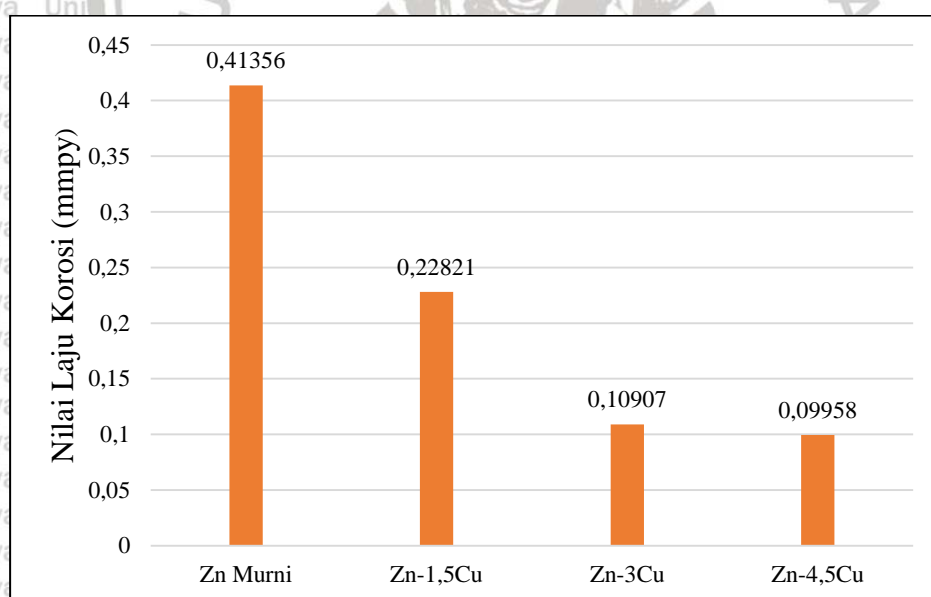


Gambar 4.2 Tafel plot pada media HBSS (*Hank's Balanced Salt Solution*)

Pada kurva polarisasi potensiodinamik (Pp) Gambar 4.2 menunjukkan hasil pengujian yang dilakukan pada setiap spesimen yaitu Zn murni, Zn-1.5Cu, Zn-3Cu, Zn-4.5Cu dengan menggunakan media HBSS, pada kurva polarisasi dapat dilihat terdapat pasivasi dimana kondisi kurva ketika sudah naik namun mengalami penurunan sedikit dan naik kembali. Dalam kondisi ini menjelaskan bahwa logam memiliki sifat pasif. Dengan menggunakan metode tafel maka nilai anodik (ba), katodik (bc), arus korosi ( $I_{corr}$ ), potensial korosi ( $E_{corr}$ ) dan besar laju korosi maka didapatkan nilai dari masing-masing spesimen seperti pada Tabel 4.1 pada media HBSS.

Tabel 4.1  
Parameter Polarisasi Potensiodinamik Paduan Variasi Cu pada HBSS

Sampel	ba (V/dec)	bc (V/dec)	$E_{corr}$ , Calc (V)	$E_{corr}$ obs (V)	$I_{corr}$ (A)	Corrosion rate (mm/year)
Zn Murni	0,032054	0,32335	-1,2841	-1,2848	0,000173	0,41356
Zn-1,5Cu	0,27981	0,022789	-1,291	-1,2919	$9,46 \times 10^{-5}$	0,22821
Zn-3Cu	0,18638	0,008882	-1,3034	-1,3034	$4,48 \times 10^{-5}$	0,10907
Zn-4,5Cu	0,18525	0,011532	-1,2939	-1,2951	$4,05 \times 10^{-5}$	0,09958



Gambar 4.3 Hasil uji laju korosi

Dari Tabel 4.1 didapatkan nilai laju korosi dari setiap spesimen dimana spesimen Zn murni memiliki laju korosi sebesar 0,41356 mm/year, spesimen Zn dengan penambahan 1,5 Cu memiliki laju korosi sebesar 0,22821 mm/year, pada spesimen penambahan 3 Cu didapatkan nilai laju korosi sebesar 0,10907 mm/year dan nilai laju korosi terkecil terdapat pada spesimen 4,5 Cu yaitu sebesar 0,09958 mm/year.



### 4.1.3 Hasil Kekerasan

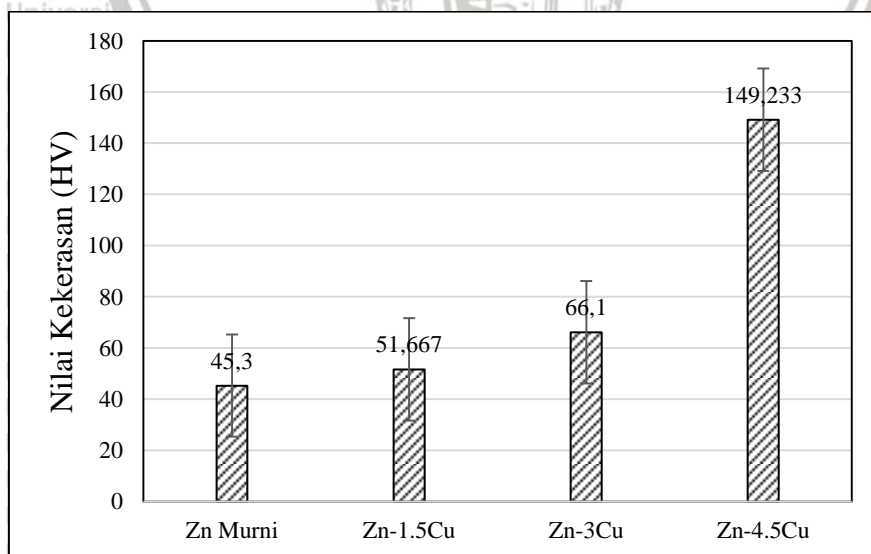
Data hasil pengujian kekerasan yang dilakukan didapatkan nilai kekerasan dan rata-rata nilai kekerasan dari tiap-tiap spesimen ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2

Data Hasil Uji Kekerasan

No	Komposisi Paduan	Nilai Kekerasan (HV)	Rata-Rata
1	Zn murni	44,8	45,3
		46,8	
		44,3	
2	Zn-1,5Cu	50,3	51,667
		53	
		51,7	
3	Zn-3Cu	59,1	66,1
		67,1	
		72,1	
4	Zn-4,5Cu	121,6	149,233
		173,1	
		153	

Dari data kekerasan pada Tabel 4.2 didapatkan bahwa data kekerasan dengan jenis indenter piramid dengan pembebanan 30 gf didapatkan nilai rata-rata kekerasan dari variasi Zn murni sebesar 45,3 HV, variasi Zn-1,5Cu didapatkan kekerasan sebesar 51,667 HV, variasi Zn-3Cu didapatkan kekerasan sebesar 66,1 HV, dan dengan variasi Zn-4,5Cu didapatkan kekerasan sebesar 149,233 HV. Dari rata-rata nilai kekesaran maka didapatkan nilai kekerasan tertinggi terdapat pada spesimen dengan variasi Zn-4,5Cu diikuti paduan Zn-3Cu, lalu paduan Zn-1,5Cu dan yang terakhir paduan Zn murni.



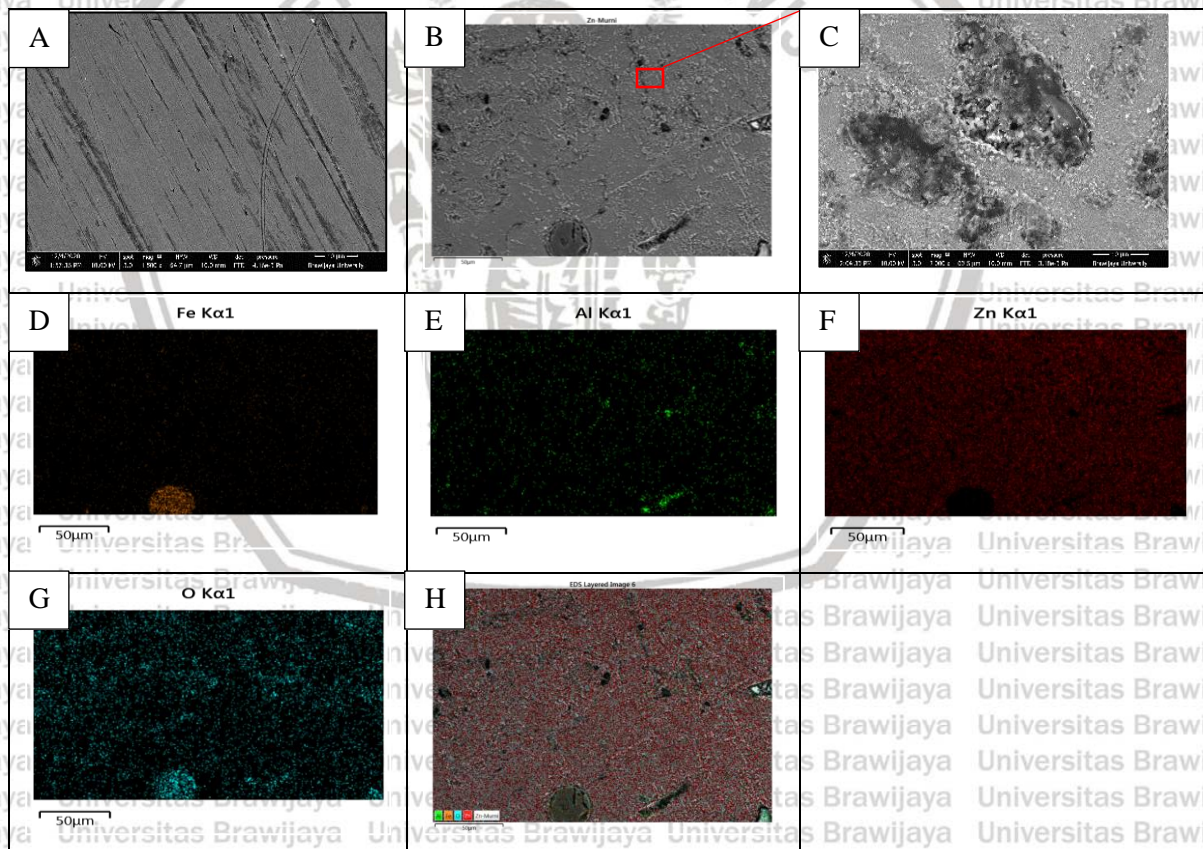
Gambar 4.4 Hasil pengujian kekerasan



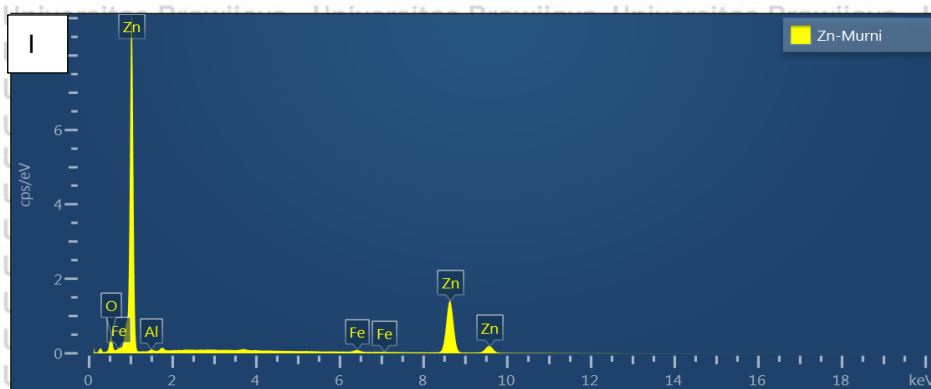
Gambar 4.4 menunjukkan hubungan antara paduan terhadap kekerasan. Pada gambar 4.4 didapatkan nilai kekerasan tertinggi terdapat pada paduan Zn-4.5Cu hal ini disebabkan karena Cu memiliki sifat dasar dapat menambahkan kekerasan (Sudjana, 2008). Sehingga semakin tinggi penambahan unsur Cu maka nilai kekerasannya akan naik. Dengan naiknya nilai kekerasan maka akan menyebabkan laju korosi semakin menurun karena semakin keras maka butirnya semakin kecil dan rapat sehingga akan menghambat terjadinya korosi. Pada paduan Zn-4.5Cu mengalami kenaikan drastis di karenakan pada paduan Zn-4.5Cu tidak ditemukannya pori-pori dan ketika di uji XRD pada paduan Zn-4.5Cu memiliki peak fasa intermetalik yang paling tinggi.

#### 4.1.4 Hasil SEM-EDS

Data hasil pengujian SEM-EDS pada Gambar 4.5 hingga 4.8 yang dilakukan pada penelitian spesimen Zn murni, Zn-1.5Cu, Zn-3Cu, Zn-4.5Cu maka didapatkan hasil foto permukaan dan hasil komposisi setiap paduannya.



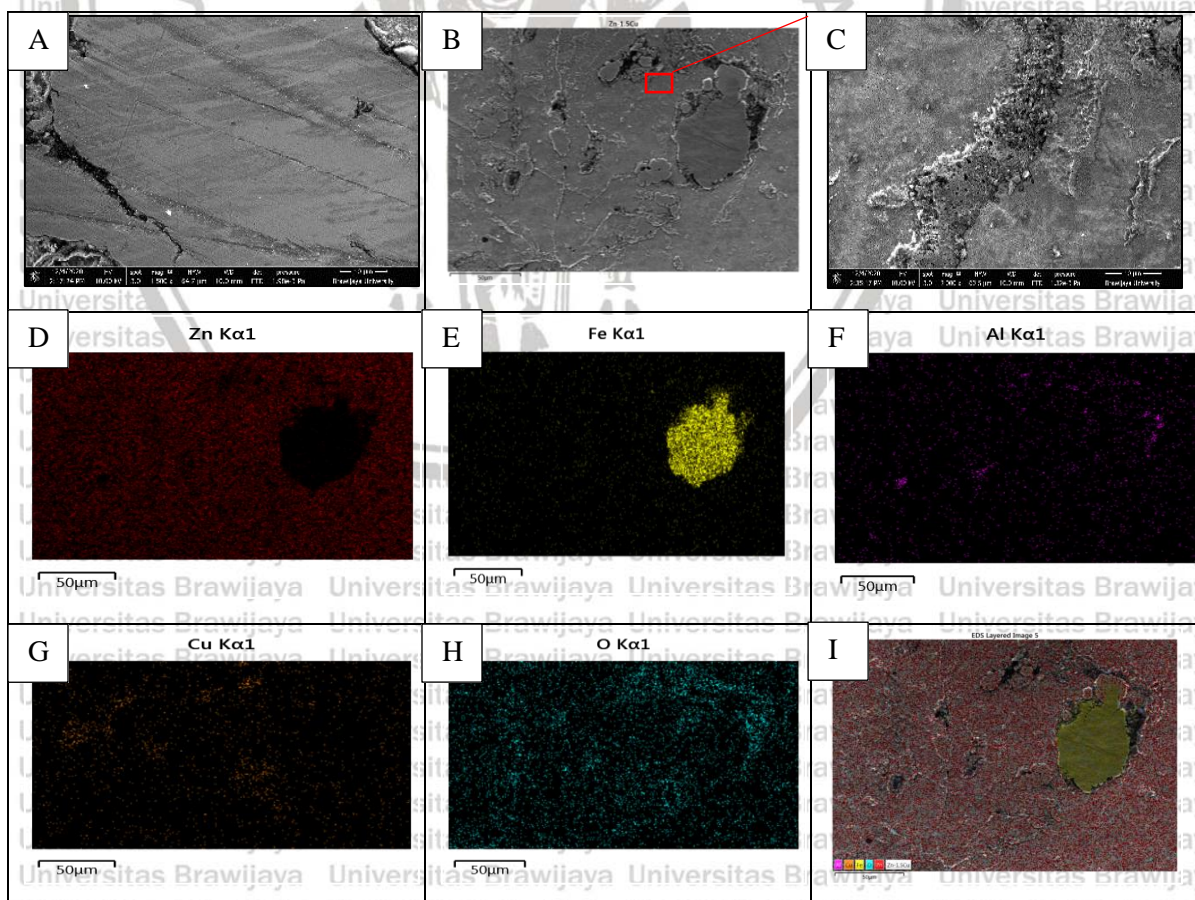




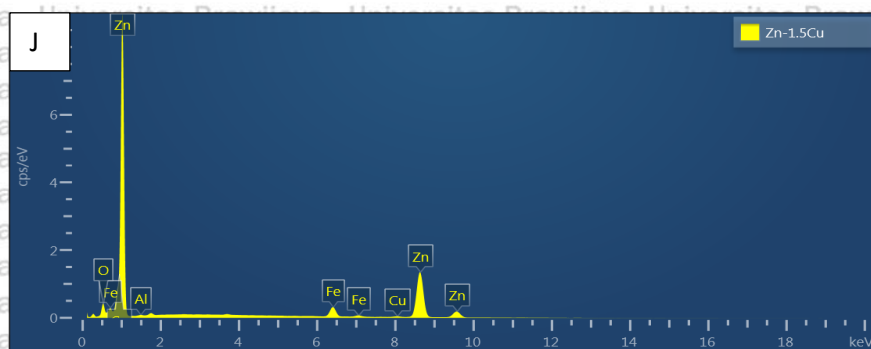
Gambar 4.5 Hasil SEM dan EDS Zn murni (a) foto SEM perbesaran 1500x (b) foto perbesaran 500x (c) pemetaan porositas (d) pemetaan Fe (e) pemetaan Al (f) pemetaan Zn (g) pemetaan O (h) komposisi unsur SEM-EDS (i) hasil EDS Zn murni

Tabel 4.3  
Unsur pada Spesimen Zn Murni

Zn-Murni		
Element	Line Type	Weight %
Zn	K series	89.17
O	K series	9.03
Fe	K series	1.10
Al	K series	0.70
Total		100.00





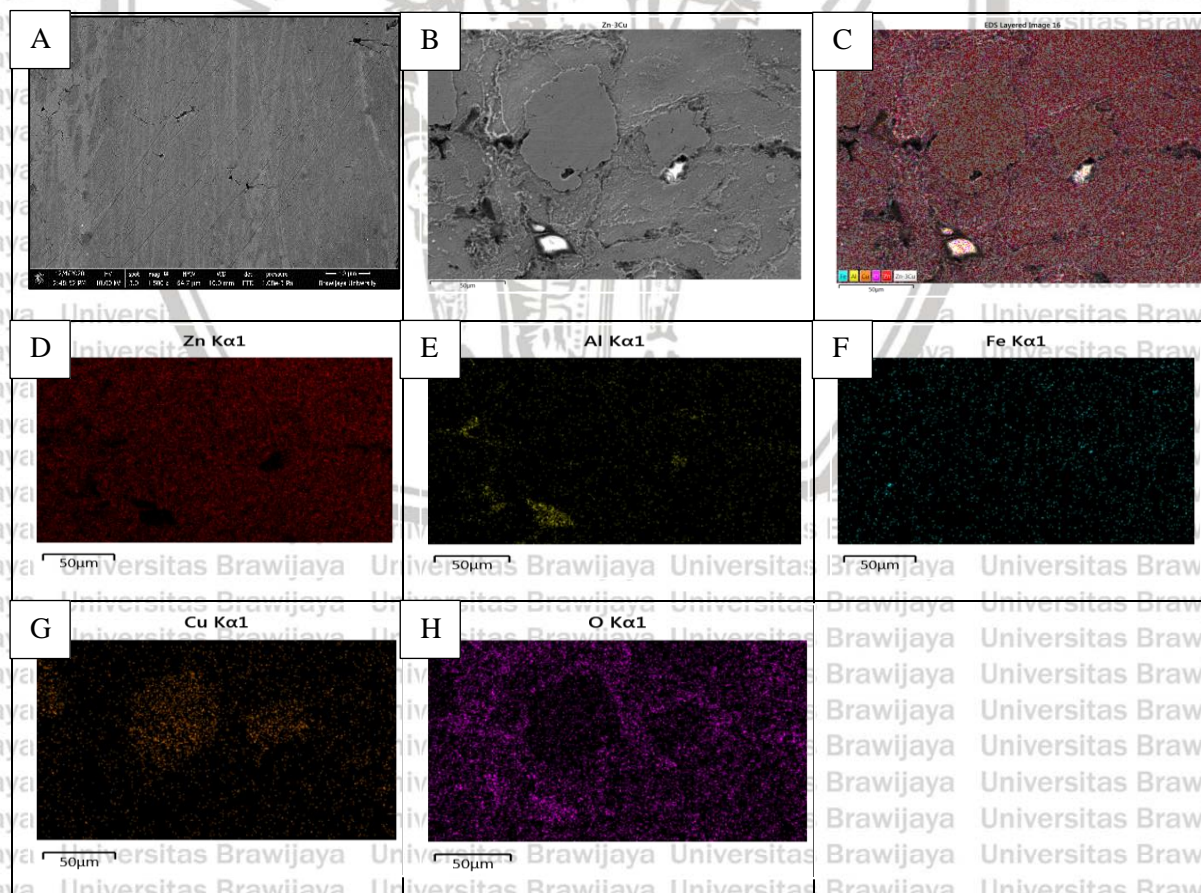


Gambar 4.6 Hasil SEM dan EDS Zn-1.5Cu (a) foto SEM perbesaran 1500x (b) foto perbesaran 500x (c) pemetaan porositas (d) pemetaan Zn (e) pemetaan Fe (f) pemetaan Al (g) pemetaan Cu (h) pemetaan O (i) komposisi unsur SEM-EDS (j) hasil EDS Zn-1.5Cu

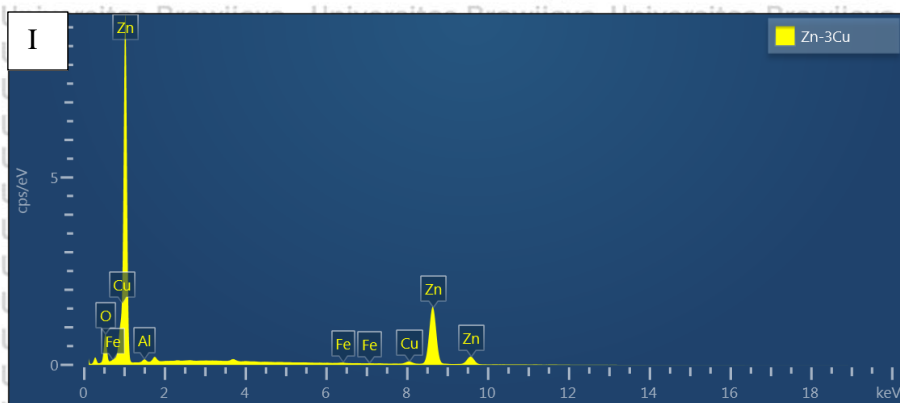
Tabel 4.4

Unsur pada Spesimen Zn-1.5Cu

Zn-1.5Cu		
Element	Line Type	Weight %
Zn	K series	84.84
O	K series	7.41
Fe	K series	6.56
Al	K series	0.34
Cu	K series	0.84
Total		100.00





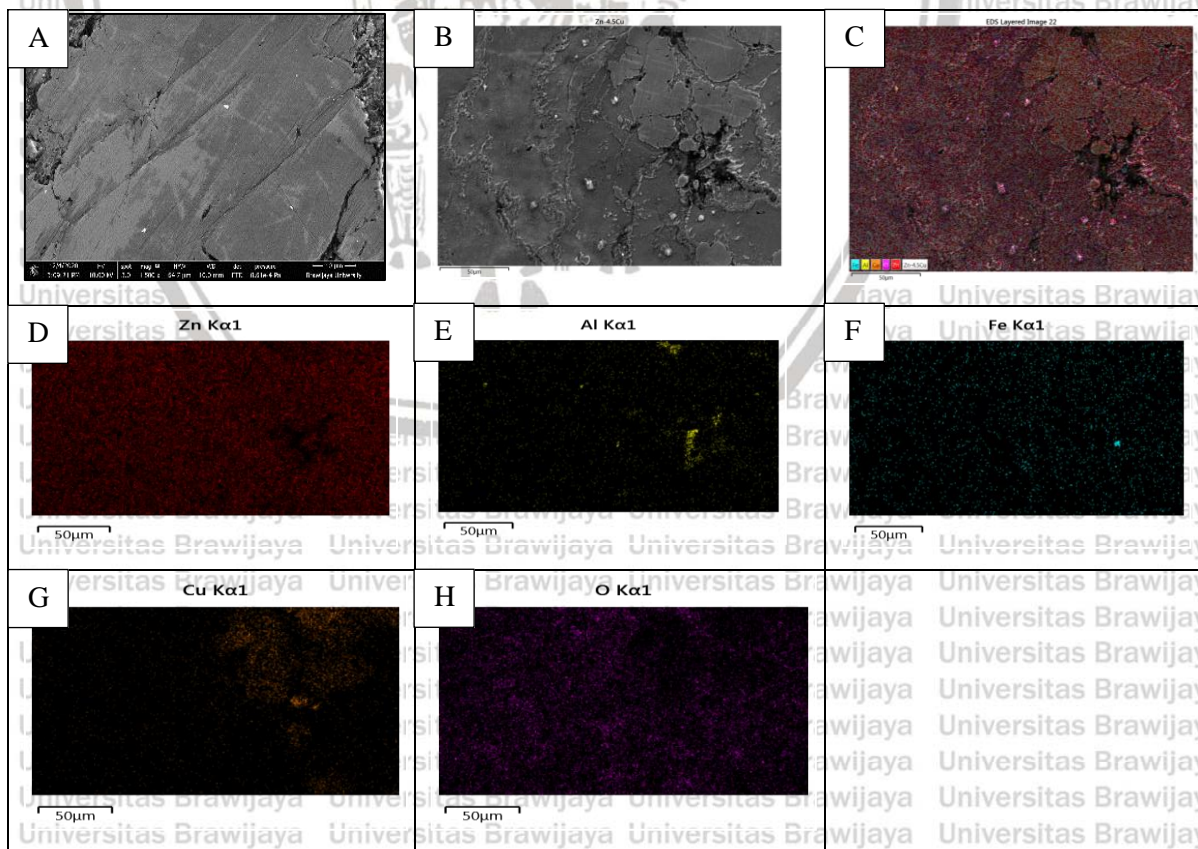


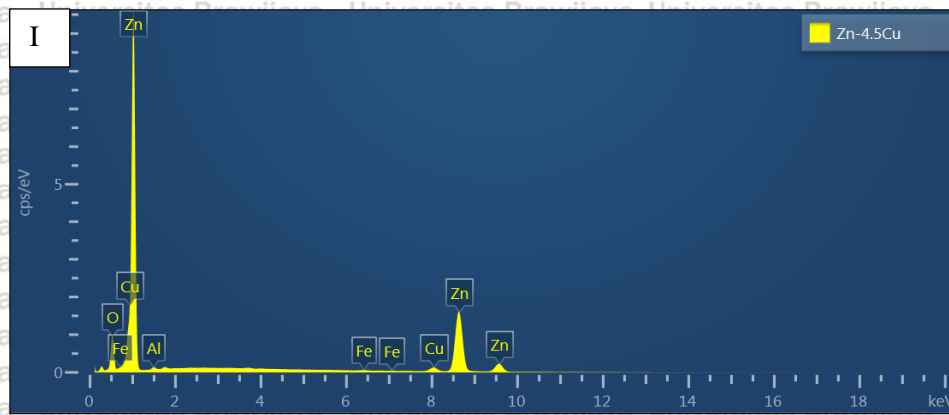
Gambar 4.7 Hasil SEM dan EDS Zn-3Cu (a) foto SEM perbesaran 1500x (b) foto perbesaran 500x (c) komposisi unsur SEM-EDS (d) pemetaan Zn (e) pemetaan Al (f) pemetaan Fe (g) pemetaan Cu (h) pemetaan O (i) hasil EDS Zn-3Cu

Tabel 4.5

Unsur pada Spesimen Zn-3Cu

Zn-3Cu		
Element	Line Type	Weight %
Zn	K series	83.31
O	K series	12.93
Fe	K series	0.24
Al	K series	0.98
Cu	K series	2.54
Total		100.00





Gambar 4.8 Hasil SEM dan EDS Zn-4.5Cu (a) foto SEM perbesaran 1500x (b) foto perbesaran 500x (c) komposisi unsur SEM-EDS (d) pemetaan Zn (e) pemetaan Al (f) pemetaan Fe (g) pemetaan Cu (h) pemetaan O (i) hasil EDS Zn-4.5Cu

Tabel 4.6  
Unsur pada Spesimen Zn-4.5Cu

Zn-4.5Cu		
Element	Line Type	Weight %
Zn	K series	81.14
O	K series	14.07
Fe	K series	0.19
Al	K series	0.71
Cu	K series	3.90
Total		100.00

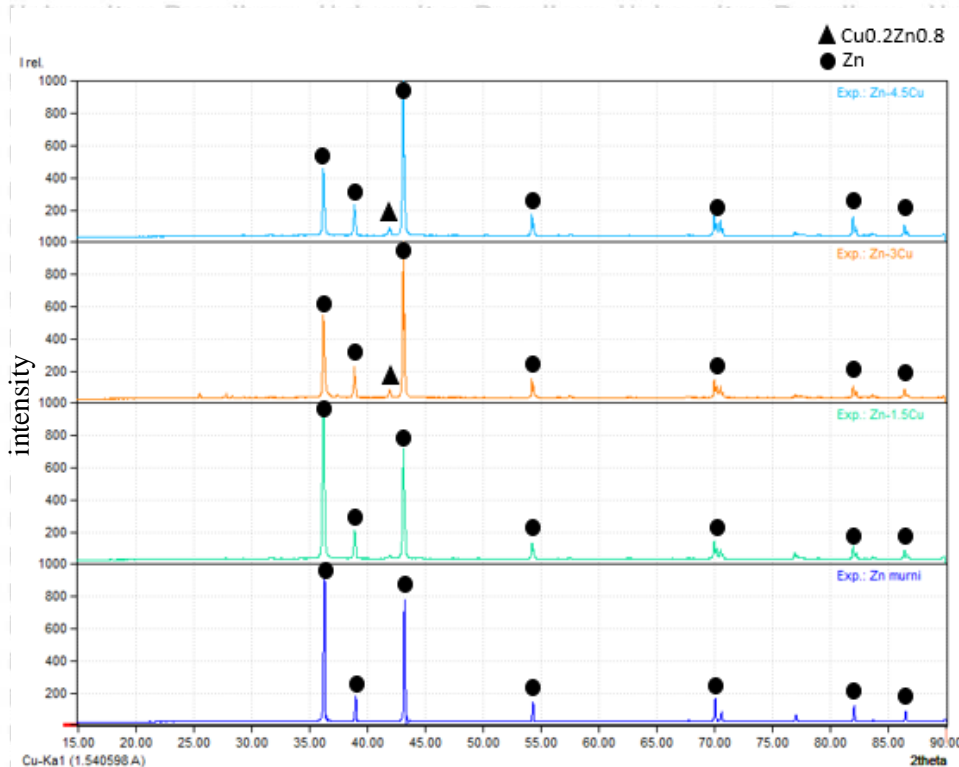
Dari hasil pengujian SEM-EDS pada spesimen Zn murni (Gambar 4.5 dan Tabel 4.3), Zn-1.5Cu (Gambar 4.6 dan Tabel 4.4), Zn-3Cu (Gambar 4.7 dan Tabel 4.6), Zn-4.5Cu (Gambar 4.8 dan Tabel 4.6) yang dilakukan dengan perbesaran 1500 kali didapatkan hasil yang berbeda pada bagian permukaan spesimen setiap paduan. Dengan penambahan unsur Cu akan membuat permukaan menjadi lebih padat daripada unsur tanpa campuran (Tang, 2017). Pada gambar Zn murni (Gambar 4.5) dan Zn-1.5Cu (Gambar 4.6) setelah dilakukan perbesaran 2000 kali dapat dilihat bahwa terdapat porositas pada bagian permukaannya dengan adanya porositas ini akan membuat spesimen memiliki kekerasan yang rendah sedangkan pada bagian Zn-4.5Cu (Gambar 4.8) bagian permukaan tidak ditemukan adanya porositas sehingga membuat spesimen terlihat lebih padat. Dari hasil EDS didapatkan hasil kandungan dari setiap spesimen dari Zn murni, Zn-1.5Cu, Zn-3Cu, Zn-4.5Cu.

Pada pengujian SEM EDS difokuskan pada hasil komposisi unsur dan bentuk dari permukaan setiap spesimen yang di uji. Dimana tidak dilakukan pengamatan dari hasil reaksi yang terbentuk pada spesimen.



### 4.1.5 Hasil XRD

Hasil pengujian XRD yang dilakukan setiap spesimen ditunjukkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Hasil analisis uji XRD

Data XRD pada Gambar 4.9 merupakan hasil pengolahan menggunakan aplikasi Match, data yang dilihat adalah intensitas dari ketinggian setiap *peaks*. Dengan pengolahan data dapat dilihat dari grafik. Terlihat Gambar 4.9 pada Zn-3Cu dan Zn-4,5Cu terdapat *peak* dimana pada Zn murni *peaks* tidak terlihat namun pada kandungan Cu tinggi yaitu pada paduan Zn-3Cu dan Zn-4,5Cu *peaks* lebih terlihat, pada *peaks* tersebut menjelaskan terbentuknya fasa intermetalik  $\text{Cu}_{0,2}\text{Zn}_{0,8}$ . Karena kandungan unsur Cu pada spesimen Zn-4,5Cu cukup tinggi sehingga terbaca oleh alat. Dengan adanya fasa intermetalik yang terbentuk ini maka dapat meningkatkan nilai kekerasan pada spesimen. Dengan begitu spesimen baik jika digunakan sebagai material implan *biodegradable*.

### 4.2 Pembahasan

Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan hasil dari berbagai variasi yang telah ditentukan pada penelitian sebelumnya yaitu Zn murni, Zn-1Cu, Zn-2Cu, Zn-3Cu, Zn-4Cu. Penelitian ini dimaksudkan guna untuk mendapatkan komposisi yang pas dari variasi paduan Zn-Cu yang digunakan sebagai bahan implan *biodegradable*. Dibandingkan penelitian laju korosi yang telah dilakukan oleh Tang (2017) dengan media SBF dimana

nilai laju korosi terendah pada Zn murni sedangkan paduan yang ditambahkan unsur Cu memiliki laju korosi lebih tinggi dari Zn murni. Dari Tabel 4.1 adalah hasil pengujian laju korosi yang telah dilakukan dengan media HBSS menunjukkan bahwa dengan bertambahnya kadar unsur Cu maka nilai laju korosi semakin menurun atau semakin tahan terhadap korosi hal ini sesuai dengan bertambahnya nilai kekerasan, dengan semakin naik nilai kekerasan ukuran butir akan semakin kecil dan akan semakin rapat maka nilai dari laju korosinya juga akan turun atau kecil. Dari hasil pengujian laju korosi dapat dilihat bahwa Cu berpengaruh terhadap nilai laju korosi setiap spesimen, dan semakin naik kandungan Cu nilai laju korosinya semakin kecil.

Sudjana (2008) menjelaskan bahwa Cu memiliki sifat untuk menambahkan kekerasan jika dijadikan sebagai bahan paduan. Seiring bertambahnya kadar Cu ukuran butir semakin mengecil (Tang, 2017). Pada Gambar 4.4 didapatkan perbandingan kandungan Cu pada setiap spesimen, nilai kekerasan tertinggi terdapat pada paduan Zn-4,5Cu. Pada hasil uji SEM didapatkan semakin bertambahnya unsur Cu, dengan menambahkan unsur Cu maka permukaan dari paduan akan terlihat lebih padat daripada Zn murni oleh sebab itu nilai kekerasan akan naik dan juga dari gambar SEM Zn murni dan Zn-1., Cu pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 terdapat porositas sehingga menurunkan nilai kekerasan. Dalam pengujian kekerasan Cu memiliki pengaruh dalam pengujian ini dikarenakan dengan bertambahnya unsur Cu nilai kekerasan meningkat. Dalam hal ini kekerasan yang dimiliki oleh paduan Zn-4,5Cu memenuhi syarat karena melenihi kekerasan tulang yaitu 80-89 HV.

Kandungan Cu dilihat dari tabel hasil uji EDS pada Tabel 4.3 hingga 4.6 semakin banyak persentase jumlah unsurnya meningkat. Dengan meningkatkan nilai kandungan dari Cu dapat meningkatkan nilai kekerasan. Terbukti pada pengujian kekerasan dengan meningkatkan kandungan nilai Cu nilai kekerasannya juga naik. Saat dilakukan uji XRD terdapat adanya fasa intermetalik pada paduan Zn-3Cu dan Zn4,5Cu pada Gambar 4.9. fasa ini akan membuat nilai kekerasan semakin meningkat.

Yang membedakan hasil pengujian dalam penelitian ini dengan yang dilakukan oleh Tang (2017), Tang menggunakan metode *casting* serta nilai laju korosi masih memiliki hasil yang kurang baik sedangkan pada penelitian yang saya lakukan dengan menggunakan hotpress memiliki nilai laju korosi dengan meningkat nilai Cu korosi semakin kecil serta nilai kekerasan semakin naik.

Cu merupakan salah satu elemen antibakteri di suatu material (Tang 2017). Pada pengujian XRD peningkatan Cu menjadikan terbentuknya fasa intermetalik, sehingga



dengan terbentuknya fasa ini paduan yang dihasilkan memiliki sifat anti bakteri yang lebih baik.

Agar menjadi bahan implan yang lebih baik maka perlu adanya penelitian lebih lanjut untuk mengembangkan sifat dari bahan. Pada penelitian yang telah dilakukan didapatkan nilai laju korosi terendah dan kekerasan tertinggi pada paduan Zn-4,5Cu, dari hasil tersebut terbukti bahwa Cu dapat meningkatkan nilai kekerasan dan dapat memengaruhi nilai laju korosi paduan.





Halaman ini sengaja dikosongkan



## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dan pengolahan data maka dapat disimpulkan bahwa nilai kekerasan seiring bertambahnya persentase kadar unsur Cu kekerasan mengalami kenaikan dimana urutan nilai kekerasan dari terendah menuju tertinggi adalah Zn murni, Zn-1.5Cu, Zn-3Cu, Zn-4.5Cu dengan nilai kekerasan terendah sebesar 45,3 HV sedangkan kekerasan tertinggi dengan nilai 149,233 HV. Pada pengujian laju korosi dengan menggunakan media HBSS didapatkan nilai laju korosi semakin kecil atau semakin tahan korosi dengan bertambahnya kadar Cu. Hal ini dibuktikan dengan semakin meningkatnya nilai kekerasan maka laju korosinya pun akan semakin kecil atau semakin tahan terhadap korosi. Dalam penelitian ini data XRD dan SEM-EDS digunakan sebagai data pendukung pengujian kekerasan dan laju korosi. Zn dan Cu merupakan elemen anti bakteri, pada saat konsentrasi Cu di atas 2% sifat antibakterinya menjadi lebih baik. Komposisi yang cocok digunakan sebagai bahan implan paduan Zn-4,5Cu dengan mempertimbangkan nilai kekerasan yang tinggi dan laju korosi terendah dibandingkan dengan paduan lainnya. Penelitian ini memungkinkan untuk dikembangkan lebih lanjut agar lebih baik ketika digunakan sebagai paduan biomaterial.

### 5.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan maka penulis memberikan saran untuk peneliti selanjutnya:

1. Pada pengujian selanjutnya perlu dilakukan uji tarik untuk mengetahui kekuatan tarik saat bahan digunakan sebagai implan pada tulang
2. Metode pencampuran komposisi menggunakan alat yang modern agar hasilnya lebih merata.
3. Dapat memberikan paduan lain agar hasil lebih maksimal pada laju korosi sehingga nilai laju korosi menjadi lebih baik lagi.



Halaman ini sengaja dikosongkan



## DAFTAR PUSTAKA

- . 1992. *ASM Handbook Volume 3: Alloy Phase Diagrams*. ASM International Handbook Committee.
- Adhi, Fikri Nugraha. 2017. *Pengaruh Komposisi Zn dan Temperatur Casting Terhadap Morfologi dan Sifat Mekanik Paduan Mg-Zn Untuk Aplikasi Biodegradable orthopedic Devices*. Institut Teknologi Sepuluh November.
- Andnindyara Wniona. 2016. *Analisis Laju Korosi Paduan Mg-Ca-Zn Sebagai Material Implan Tulang Dengan Metode Potensiostat Pada Simulated Body Fluids (Sbf)*. Institut Teknologi Sepuluh November.
- Bardal, Einar. 2004. *Corrosion and Protection*. New York: Springer Verlag London Limited
- Darwis Arwin. 2017. *Pengenalan Dasar X-Ray Diffraction*. Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Alaudin Makasar.
- Dumitrescu, A, L. 2011. *Antibiotics and Antiseptics in Periodontal Therapy*.
- Gapsari, Femiana. 2017. *Pengantar Korosi*. Malang: Universitas Brawijaya Press.
- Haryono, G., Bambang G., Hanima F., & Yudi T. 2010. *Ekstrak Bahan Alami sebagai Inhibitor Korosi*. Jurusan Teknik Kimia FTI UPN “veteran” Yogyakarta.
- Herlina, Nasmi Sari. 2018. *Material Teknik*. Yogyakarta: CV Budi Utama.
- Kurniawan Yudha Afandi, 2015. Analisa Laju Korosi pada Pelat Baja Karbon dengan Variasi Ketebalan Coating. *Jurnal Teknik ITS vol 4 no 1*.
- Li,H.F., Z.Z. Shi & L.N. Wang. 2020. Opportunities and Challenges of Biodegradable Zn-based Alloys. *IOP Coference Series: Journal of Materials science & Technology*.
- Manivagsam,Geetha, Dhinasekaran,Durgalakshmi & Rajamanickam,Asokamani. 2010. *Biomedical Implants: Corrosion and its Prevention - A Review. Recent Patents on Corrosion Science, Vol. 2, 40-54*.
- Manurung, AT Vuko., Yohanes Tri Joko W. & Satriyo Yudi B. 2020. *Panduan Metalografi*. Jakarta: LP2M Politeknik Manufaktur Astra.
- Niu,J., Zibo,T., Hua,H., Jia,P., Hua,Z., Guangyin,Y., & Wenjiang,D. 2016. *Research on a Zn-Cu Alloy as a Biodegradable Material for Potential Vascular Stents Application*. IOP Coference Series: Materials Science and Engineering.
- Olszta, J, M. 2007. Bone structure and formation: A new perspective.
- Qulub, 2011. *Scanning Electron Microscope dan Energi Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDS)*. <http://www.Munawirul-q.blogspot.com/2011/031>. Diakses tanggal 19 September 2020, pukul 16.00 WIB
- Rasyid, Syaharuddin. 2014. *Teknologi Pengolahan Logam*. Yogyakarta: CV Budi Utama.
- Saito, E. 2011. *Designed Biodegradable and Osteoconductive Porous Scaffolds for Human Trabecular Bone*.



Setyadhani, Riana Tri. 2012. *X-Ray Diffraction (XRD)*. Nanudz Blog- UNS. <http://nauudz.blog.uns.ac.id/2012/12/28/x-ray-diffraction-xrd/>. 20 September 2020, pukul 13.00 WIB.

Sudjana, Hadi. 2008. *Teknik pengecoran untuk SMK*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.

Suprpto, wahyono. 2017. *Teknologi Pengecoran Logam*. Malang: UB Press

Tang, Zibo., Jialin,N., Hua,H., Hua,Z., Jia,P., Jingmin,O., & Guangyin,Y. 2017. Potential Biodegradable Zn-Cu Binary Alloys Developed For Cardiovascular Implant Applications. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*.

Tiandho, Yuant., Assyira,A.T., & Fitri,A. 2018. *Analisis Kuantitatif metalografi Berdasarkan Pengolahan Citra Menggunakan Wolfram Mathematica*. Jurusan Fisika Universitas Bangka Belitung.

Tong, Xian., Zimu.S., Linchao,X., Jixing,L., Dechuang,Z., Kun,W., Yucang,Li., & Cuie,W. 2020. *Degradation Behavior, Cytotoxicity, Hemolysis, And Antibacterial Properties of Electro-Deposited Zn-Cu Metal Foams As Potential Biodegradable Bone Implants*. IOP Conference Series: Acta Biomaterialia

Utomo Budi. 2009. *Jenis Korosi dan Penanggulangannya*. Kapal, 6(2), 138-141. <https://doi.org/10.12777/kpl.6.2.138-141>


Vojtech, Dalibor, et al. 2014. *Magnesium, Zinc and Iron Alloys for Medical Applications in Biodegradable Implants*. Department of Metals and Corrosion Engineering, Institute of Chemical Technology, Prague: 1 - 5.

Que, X. H. Yang, B. Jia, Z. Yu, Y. Zheng, K. Dai. 2020. *Biodegradable Zn-Cu alloys show antibacterial activity against MRSA bone infection by inhibiting pathogen adhesion and biofilm formation*. IOP Conference Series: Acta Biomaterialia.


Zheng,Y.F .,Gu,X.N .,witte,F. 2014. *Biodegradable Metals*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.



# Lampiran 1 Data hasil pengujian Kekerasan



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
**POLITEKNIK NEGERI MALANG**  
**JURUSAN TEKNIK MESIN**  
Terakreditasi B, sesuai Kpts BAN No. 007/BAN-PT/Ak-XII/Dpl-III/V/2012  
Jl. Soekarno Hatta No 9 Malang 65145 Tlp / Fax. (0341) 550180  
<http://www.polinema.ac.id>




  

**TABEL UJI KEKERASAN MICRO-VICKERS**

Nama : Jiwantokoh Aji Raja Suta  
 NIM : 175050200111002  
 Instansi : Teknik Mesin- Universitas Brawijaya  
 Hari/Tanggal Pengujian : Kamis, 10 Desember 2020

No	Komposisi Paduan	Nilai Kekerasan (HV)	Rata-Rata
1	Zn murni	44,8	45,3
		46,8	
		44,3	
2	Zn-1,5Cu	50,3	51,667
		53	
		51,7	
3	Zn-3Cu	59,1	66,1
		67,1	
		72,1	
4	Zn-4,5Cu	121,6	149,233
		173,1	
		155	

Nb.  
 1. Force : 30gf  
 2. Dwell : 15 Detik

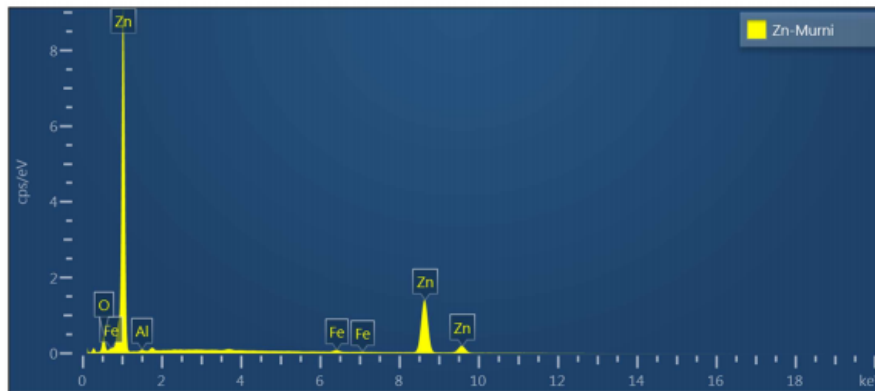


FRM/RME 02.01.00

## Lampiran 2 Data hasil pengujian SEM-EDS Zn-Murni

04122020

12/4/2020



Zn-Murni				
Element	Line Type	Weight %	Weight % Sigma	Atomic %
Zn	K series	89.17	0.21	69.10
O	K series	9.03	0.19	28.59
Fe	K series	1.10	0.08	1.00
Al	K series	0.70	0.08	1.32
Total		100.00		100.00

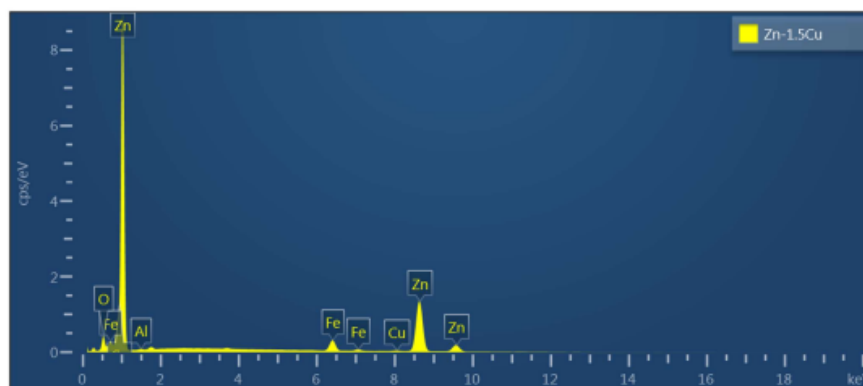




### Lampiran 3 Data hasil pengujian SEM-EDS Zn-1.5Cu

04122020

12/4/2020

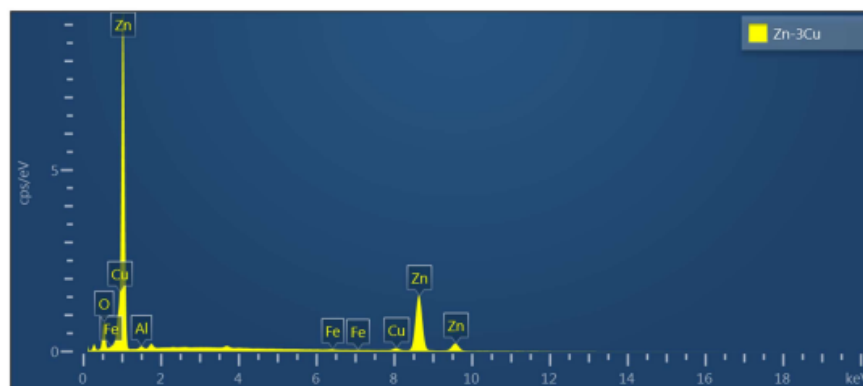


Element	Line Type	Weight %	Weight % Sigma	Atomic %
O	K series	7.41	0.19	24.32
Zn	K series	84.84	0.25	68.14
Fe	K series	6.56	0.12	6.17
Cu	K series	0.84	0.13	0.70
Al	K series	0.34	0.07	0.67
Total		100.00		100.00

# Lampiran 4 Data hasil pengujian SEM-EDS Zn-3Cu

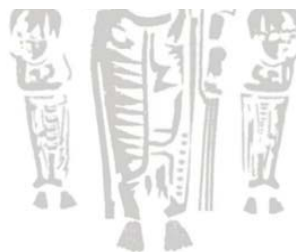
14122020

12/15/2020



Zn-3Cu Element	Line Type	Weight %	Weight % Sigma	Atomic %
Zn	K series	83.31	0.24	58.92
O	K series	12.93	0.19	37.36
Cu	K series	2.54	0.13	1.85
Al	K series	0.98	0.07	1.68
Fe	K series	0.24	0.06	0.20
Total		100.00		100.00

OXFORD  
INSTRUMENTS  
The Business of Science®

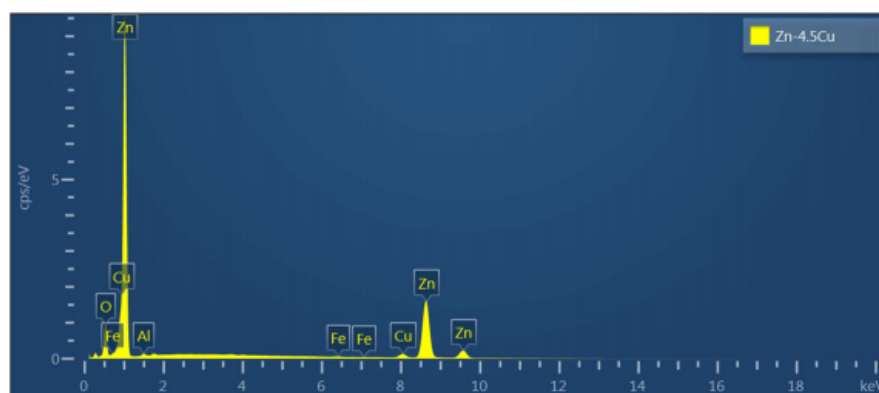




# Lampiran 5 Data hasil pengujian SEM-EDS Zn-4.5Cu

14122020

12/15/2020



Zn-4.5Cu					
Element	Line Type	Weight %	Weight % Sigma	Atomic %	
O	K series	14.07	0.19	39.77	
Cu	K series	3.90	0.14	2.77	
Zn	K series	81.14	0.23	56.12	
Fe	K series	0.19	0.06	0.15	
Al	K series	0.71	0.07	1.18	
Total		100.00		100.00	

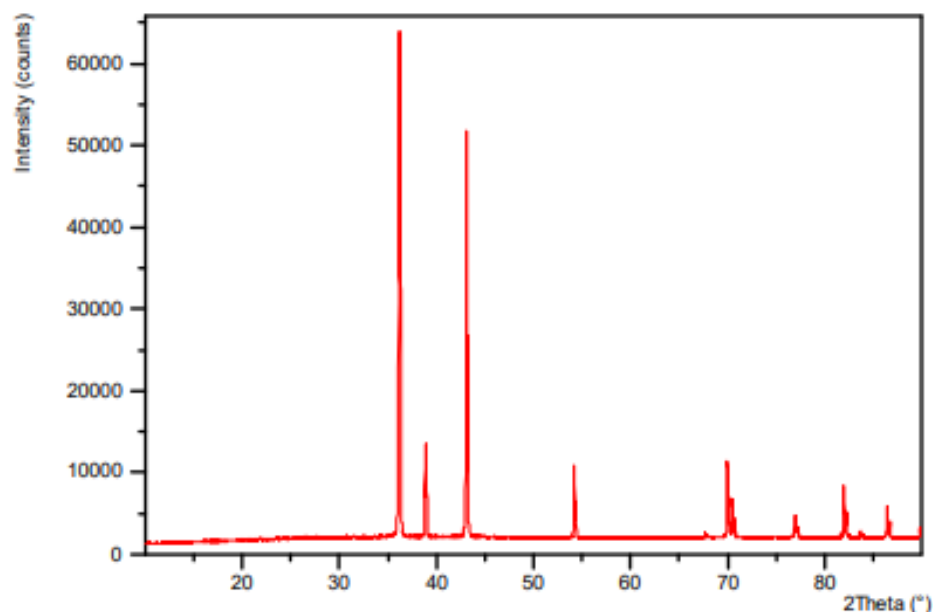
## Lampiran 6 Data Hasil Pengujian XRD Zn-Murni

## Data Viewer



Zn murni.xrdml

Scan range (°): 10.0000 - 89.9968  
Start position (°): 10.0084  
End position (°): 89.9885  
Step size (°): 0.0167  
No. of points: 4787  
Scan mode: Continuous  
Counting time (s): 10.160



UB (\\DESKTOP-GQMO53U\\UB)

11/18/2020 3:44:33 PM

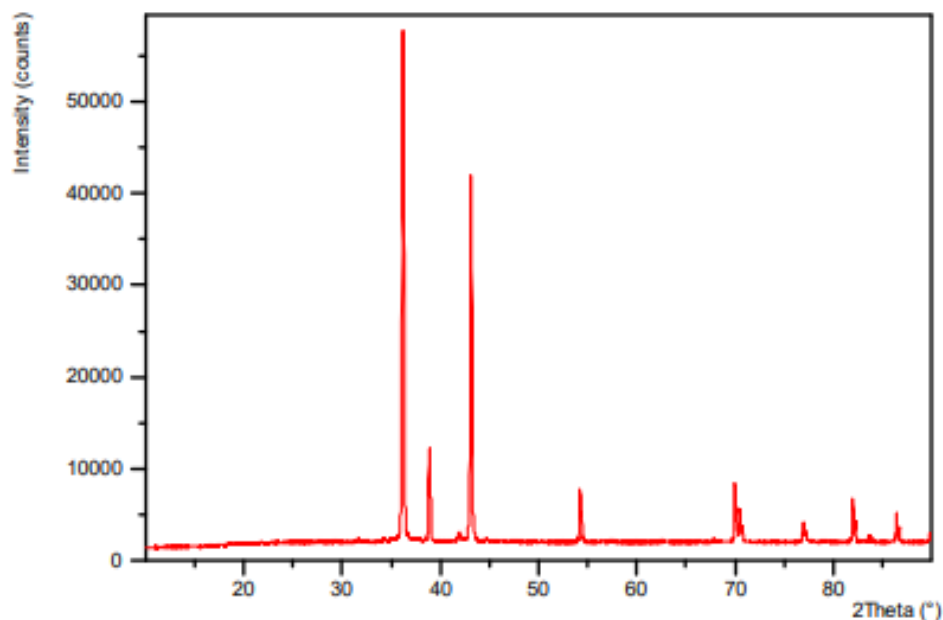
Page 4 of 4



**Lampiran 7 Data Hasil Pengujian XRD Zn-1.5Cu****Data Viewer**

Zn-1.5Cu.xrdml

Scan range (°): 10.0000 - 89.9968  
Start position (°): 10.0084  
End position (°): 89.9885  
Step size (°): 0.0167  
No. of points: 4787  
Scan mode: Continuous  
Counting time (s): 10.160



UB (\\DESKTOP-GQMO53U\\UB)

11/18/2020 3:44:49 PM

Page 4 of 4

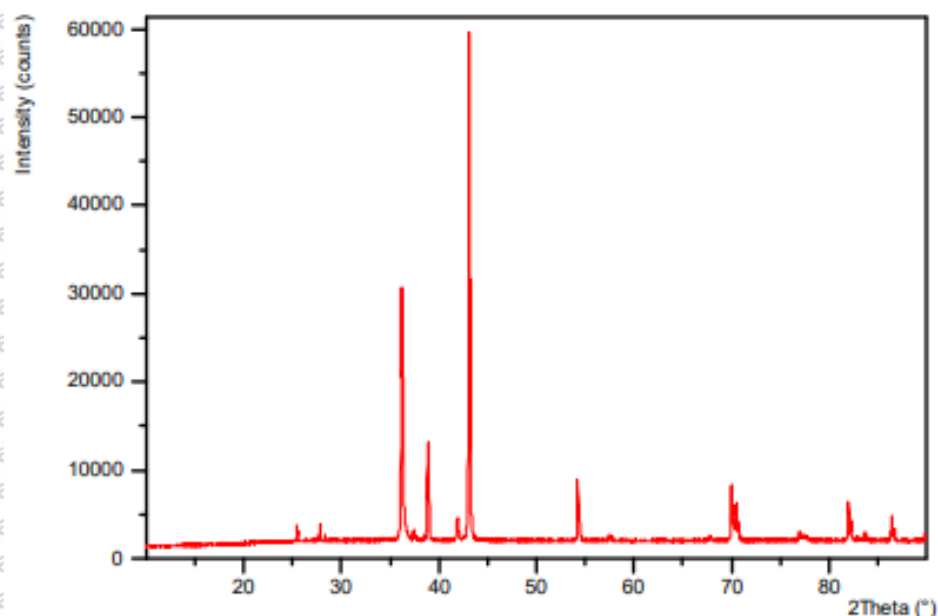
## Lampiran 8 Data Hasil Pengujian XRD Zn-3Cu

## Data Viewer



Zn-3Cu.xrdml

Scan range (°): 10.0000 - 89.9968  
Start position (°): 10.0084  
End position (°): 89.9885  
Step size (°): 0.0167  
No. of points: 4787  
Scan mode: Continuous  
Counting time (s): 10.160



UB (\\DESKTOP-GQMO53U\\UB)

11/18/2020 3:45:04 PM

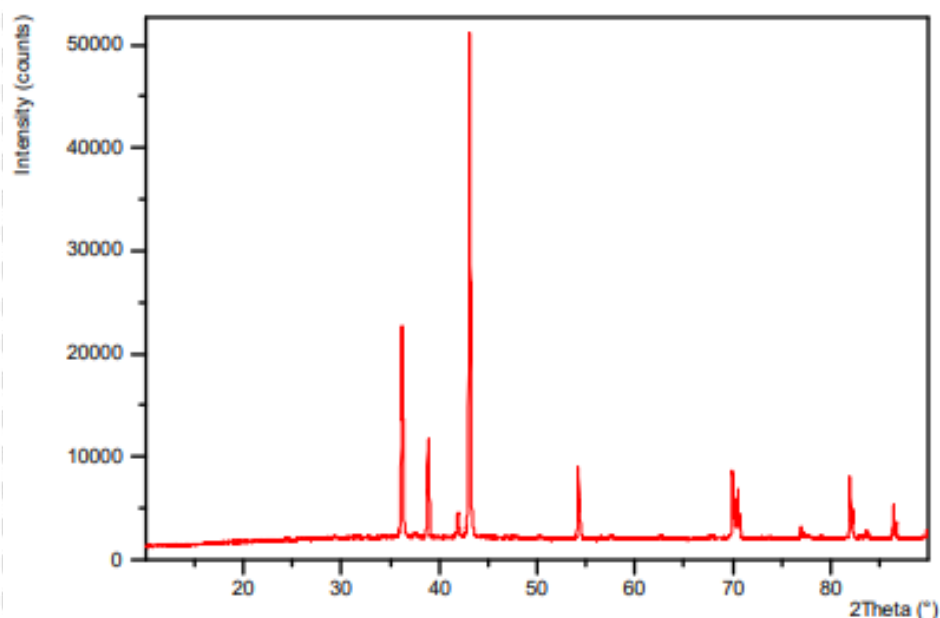
Page 4 of 4



**Lampiran 9 Data Hasil Pengujian XRD Zn-4.5Cu****Data Viewer**

Zn-4.5Cu.xrdml

Scan range (°): 10.0000 - 89.9968  
Start position (°): 10.0084  
End position (°): 89.9885  
Step size (°): 0.0167  
No. of points: 4787  
Scan mode: Continuous  
Counting time (s): 10.160



UB (\\DESKTOP-GQMO53\\UB)

11/18/2020 3:45:22 PM

Page 4 of 4

